



Instituto de Tecnologia  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

**Identificação e Quantificação de  
Deslocamento Cerâmico em Fachadas de  
Edifícios no Contexto da Indústria 4.0**

**TESE DE DOUTORADO**

Alcineide Dutra Pessoa de Sousa

2023

**Alcineide Dutra Pessoa de Sousa**

**Identificação e Quantificação de Deslocamento  
Cerâmico em Fachadas de Edifícios no Contexto da  
Indústria 4.0**

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutora.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués

Belém, 24 de março de 2023.



# IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE DESPLACAMENTO CERÂMICO EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

AUTORA:

**ALCINEIDE DUTRA PESSOA DE SOUSA**

TESE SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTORA EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADO EM: 24 / 03 / 2023.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués

Orientador (ITEPA)  
Documento assinado digitalmente



ALBERTO CASADO LORDSLEEM JUNIOR  
Data: 28/03/2023 20:50:08-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alberto Casado Lordsleem Junior  
Membro Externo (UEP)

Documento assinado digitalmente



DEBORA DE GOIS SANTOS  
Data: 27/03/2023 12:20:20-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Débora de Gois Santos  
Membro Externo (UFS)

Documento assinado digitalmente



FREDERICO GUILHERME PAMPLONA MOREI  
Data: 29/03/2023 13:26:50-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Frederico Guilherme Pamplona Moreira  
Membro Interno (UFPA)

visto:

Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço  
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**  
**Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

S725i Sousa, Alcineide Dutra Pessoa de.  
Identificação e Quantificação de Desplacamento Cerâmico em  
Fachadas de Edifícios no Contexto da Indústria 4.0 / Alcineide  
Dutra Pessoa de Sousa. — 2023.  
123 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de  
Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,  
Belém, 2023.

1. Inspeção. 2. Manutenção. 3. Desplacamento cerâmico.  
4. Indústria 4.0. I. Título.

Dedico esta tese ao meu querido esposo Gean Carlos

À minha querida mãe

Aos meus irmãos e sobrinhos

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela minha vida, por ter me guiado até aqui e por me permitir viver cada sonho.

Sou muito grata ao meu esposo Gean Carlos, meu companheiro e amigo, que me apoiou em todos os momentos, soube me compreender quando eu mais precisei, sempre me ajudou e esteve presente em todas as fases, dando-me forças para concluir essa etapa importante da minha vida. Agradeço a minha mãe Francisca Dutra, por sempre ter me incentivado a estudar e nunca medir esforços para me dar sempre o melhor e por me mostrar que esse é o melhor caminho a ser trilhado e, mesmo longe, sempre está torcendo por mim.

Ao meu pai João e aos meus irmãos que eu sei que torcem muito pelo meu sucesso. Aos meus sobrinhos que são crianças maravilhosas.

Ao professor Luiz Maurício que me acolheu, orientou pacientemente, incentivou, conversou e mostrou o caminho para realização deste trabalho. Aos meus professores do ensino fundamental e médio que hoje são meus amigos e estão sempre torcendo por mim. A todos os meus professores da graduação por contribuírem na minha formação e pelo incentivo, em especial a professora Ana Carolina Reis, Fábio Dieguez, Rodrigo Araújo e Gean Carlos.

Obrigada a todos os meus amigos da graduação, da igreja e do PIB (Laboratório de Processamento da Informação Biológica) que sempre me incentivaram, em especial minha querida amiga Déborah Fabrícia, um dos presentes que ganhei e sempre se fez presente quando foi preciso.

## RESUMO

O processo de manutenção em fachadas é direcionado pelos resultados obtidos na fase de inspeção. Algumas propostas de métodos que visam ao melhoramento do processo de inspeção têm sido discutidas, e entre essas se destacam as que são conduzidas com base nas técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) capturadas por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). O uso de VANT para capturar imagens em fachadas agiliza o acesso à área inspecionada, e as técnicas de PDI ajudam a automatizar o processo de identificação de manifestações patológicas. Além disso, a Quarta Revolução Industrial tem permitido a utilização de diversas ferramentas tecnológicas nas mais variadas aplicações de engenharia. Entre essas tecnologias podem ser citadas a computação em nuvem e os algoritmos de visão computacional. Nesse contexto, essa pesquisa tem como objetivo aplicar técnicas de PDI para detectar regiões com deslocamento cerâmico em fachadas de edifícios utilizando as tecnologias pertinentes a Indústria 4.0 (Quarta Revolução Industrial). O procedimento metodológico utilizado inicia com a formação de uma base de dados (imagens) capturadas por celular e por VANT. Para fins de modelagem, o algoritmo de detecção de objetos YOLO (You Only Look Once) foi aplicado nas imagens que compõem a base de dados utilizando computação em nuvem. A metodologia aplicada resultou em um programa escrito em python capaz de identificar as regiões com deslocamento, quantificar as cerâmicas faltantes e exportar os resultados da quantificação em uma planilha. O processo de identificação teve taxas de acertos próximos de 99% e a quantificação erros de menos de uma cerâmica por imagem, o que leva a conclusão da viabilidade do programa computacional proposto.

**Palavras-chave:** Inspeção, Manutenção, Deslocamento cerâmico, Indústria 4.0

## ABSTRACT

The facade maintenance process is guided by the results obtained in the inspection phase. Some proposals for methods aimed at improving the inspection process have been discussed, and among these, those that are conducted based on Digital Image Processing (PDI) techniques captured by Unmanned Aerial Vehicle (UAV) stand out. The use of UAVs to capture images on facades streamlines access to the inspected area, and PDI techniques help to automate the process of identifying pathological manifestations. In addition, the fourth industrial revolution has allowed the use of various technological tools in the most varied engineering applications. Among these technologies we can mention cloud computing and computer vision algorithms. In this context, this research aims to apply PDI techniques to detect regions with ceramic displacement on building facades using technologies relevant to industry 4.0 (fourth industrial revolution). The methodological procedure used starts with the formation of a database (images) captured by cell phone and UAV. For modeling purposes, the YOLO (You Only Look Once) object detection algorithm was applied to the images that make up the database using cloud computing. The applied methodology resulted in a program written in python capable of identifying the regions with displacement, quantifying the missing ceramics and exporting the quantification results in a spreadsheet. The identification process had success rates close to 99% and the quantification errors of less than one ceramic per image, which leads to the conclusion of the feasibility of the proposed computational program.

**Keywords:** Inspection, Maintenance, Ceramic Deplacing, Industry 4.0.



Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.

(Isaac Newton)

## Sumário

	<b>Capítulo</b>	<b>Página</b>
1	INTRODUÇÃO .....	15
1.1	Justificativa e problema de pesquisa .....	16
1.2	Objetivos .....	20
1.2.1	Objetivo geral.....	20
1.2.2	Objetivos específicos.....	20
1.3	Hipóteses .....	20
1.4	Limitações .....	21
1.5	Estrutura do trabalho .....	21
2	INDÚSTRIA 4.0: HISTÓRICO, CONCEITOS E PRINCÍPIOS .....	22
2.1	Histórico e conceitos .....	23
2.2	Uso de Veículos Aéreos Não Tripulados na Construção Civil .....	24
2.3	Computação em Nuvem .....	27
2.3.1	Características da Computação em Nuvem.....	28
2.3.2	Google Colab.....	30
2.4	Técnicas de Aprendizado de Máquina — AM.....	32
2.4.1	Redes Neurais Artificiais .....	33
2.4.2	Redes Neurais Convolucionais.....	34
2.4.3	Detecção de Objetos.....	38
2.4.4	O algoritmo de clusterização <i>k-means</i> .....	40
2.5	Modelagem da Informação da Construção — BIM .....	42
2.5.1	Interoperabilidade .....	45
2.5.2	Quantificação utilizando BIM .....	46
3	FACHADAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO .....	49
3.1	Revestimento Cerâmico em Fachadas.....	49
3.1.1	Características dos Revestimentos Cerâmicos .....	51
3.1.2	Composição do Sistema de Revestimento Cerâmico em Fachadas .....	52
3.2	Manifestações Patológicas em Revestimento Cerâmico de Fachadas .....	55
3.2.1	Descolamento e Deslocamento do Revestimento Cerâmico .....	56
3.3	Inspeção de Fachadas com Revestimento Cerâmico.....	59
3.3.1	Inspeção de Fachadas: Tempo e Segurança .....	59
3.3.2	Inspeção com VANT.....	61
3.4	Custo de Inspeção de Fachadas .....	63
4	ENQUADRAMENTO, MÉTODO E CONDUÇÃO DA PESQUISA .....	68

4.1	<i>Design science</i> e Ciências tradicionais.....	68
4.2	Enquadramento da pesquisa .....	69
4.3	Método e Condução da Pesquisa.....	70
	Fase I: identificação do problema .....	71
	Fase II: Conscientização do problema .....	72
	Fase III: Revisão sistemática da literatura.....	72
	Fase IV: Identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas .....	77
	Fase V: Proposição de artefatos para resolver o problema .....	77
	Fase VI: Projeto do artefato selecionado.....	78
	Fase VII: Desenvolvimento do artefato .....	82
	Fase VIII: avaliação do artefato .....	82
	Fase IX: Generalização para uma classe de problemas.....	84
	Fase X: Comunicação dos resultados.....	84
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	86
5.1	Construção do Artefato Proposto .....	86
	5.1.1 Coleta e processamento das imagens .....	86
	5.1.2 Identificação das regiões com deslocamento cerâmico.....	88
	5.1.3 Quantificação das cerâmicas deslocadas .....	91
5.2	Avaliação do Artefato .....	94
	5.2.1 Resultados de Quantificação para <i>Threshold</i> – <i>NMS=0,30</i> .....	96
	5.2.2 Resultados de Quantificação para <i>Threshold</i> — <i>NMS=0,20</i> .....	100
5.3	Considerações sobre Custo e Tempo de Inspeção .....	104
6	CONCLUSÕES, CONTRIBUIÇÕES E TRABALHOS FUTUROS .....	107
6.1	Conclusões .....	107
6.2	Contribuições .....	108
6.3	Trabalhos Futuros.....	109
	REFERÊNCIAS .....	110

## Lista de Tabelas

<b>Tabelas</b>	<b>Página</b>
Tabela 1: Extratificação do tempo nas etapas da inspeção por VANT .....	19
Tabela 2: Composição de custos de inspeção com VANT .....	64
Tabela 3: Composição de custo de inspeção tradicional .....	65
Tabela 4: Comparação entre vistoria com VANT e com Alpinista.....	66
Tabela 5: Custos com serviços de filmagem e laudo pericial de patologias .....	67
Tabela 6: Artigos encontrados e aceitos por base e String .....	74
Tabela 7: Informações sobre os edifícios inspecionados.....	86
Tabela 8: Resultados da aplicação do algoritmo YOLO .....	89
Tabela 9: Resultados da aplicação do algoritmo YOLO .....	90
Tabela 10: Resumo geral dos resultados de quantificação .....	96
Tabela 11: Quantificação para Threshold=0,10 e Threshold — NMS=0,30 (VR — valor real contado pela engenheira, VC — valor calculado pelo algoritmo) .....	97
Tabela 12: Resultados de quantificação para Threshold=0,15 e Threshold — NMS=0,30 (VR-valor real contado pela engenheira, VC — valor calculado pelo algoritmo) .....	99
Tabela 13: Resultados de quantificação para Threshold=0,20 e Threshold — NMS=0,30 (VR — valor real contado pela engenheira, VC — valor calculado pelo algoritmo) .....	100
Tabela 14: Resultados obtidos para Threshold=0,10 e Threshold — NMS=0,20 (VR — valor real contado pela engenheira, VC — valor calculado pelo algoritmo) .....	101
Tabela 15: Resultados de quantificação para Threshold=0,15 e Threshold — NMS=0,20 (VR — valor real contado pela engenheira, VC — valor calculado pelo algoritmo). .....	103
Tabela 16: Resultados de quantificação para Threshold=0,20 e Threshold — NMS=0,20 (VR —valor real contado pela engenheira, VC — valor calculado pelo algoritmo) .....	104
Tabela 17: Valores de inspeção tradicional e com auxílio de VANT .....	105
Tabela 18: Comparação de tempo para realização das atividades de inspeção com VANT ..	106

## Lista de Figuras

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 1: Etapas da inspeção com VANT .....	18
Figura 2: Princípios da Indústria 4.0 utilizados nessa pesquisa .....	22
Figura 3: Histórico das Revoluções Industriais .....	23
Figura 4: Definições para Computação em Nuvem.....	27
Figura 5: Resumo dos modelos de serviço .....	29
Figura 6: Parte da interface do Google Colab .....	31
Figura 7: Desenvolvimento histórico das Redes Neurais.....	34
Figura 8: Exemplo de convolução em uma imagem .....	35
Figura 9: Demonstração de como os filtros funcionam em camadas convolucionais.....	36
Figura 10: Exemplo de subamostragem de valor máximo .....	37
Figura 11: Arquitetura da CNN YOLO .....	38
Figura 12: Detecção de objetos com YOLO .....	39
Figura 13: Exemplo de diversas caixas delimitadoras.....	39
Figura 14: Exemplo de Clustreização com k-means .....	41
Figura 15: Interoperabilidade .....	45
Figura 16: Esquema de intercâmbio de dados para integração entre modelo, cronograma e orçamento .....	47
Figura 17: Revestimento Cerâmico: 1) Alvenaria, 2) Emboço/Reboco, 3) Argamassa colante, 4) Cerâmica e 5) Argamassa de rejunte.....	53
Figura 18: Dilatação do revestimento e da base .....	57
Figura 19: Compressão do Plano de Revestimento .....	58
Figura 20: Exemplo de deslocamento cerâmico .....	58
Figura 21: Acidentes de trabalho em altura entre 2012 e 2017 por região.....	60
Figura 22: Acidentes de trabalho em altura entre 2012 e 2017 no Sudeste .....	61
Figura 23: Protocolo de captura de Imagens de fachadas utilizando VANT .....	62
Figura 24: Passos adotados para condução da pesquisa.....	71
Figura 25: Fluxograma de execução da Revisão Sistemática da Literatura — RSL.....	76
Figura 26: Exemplo de detecção de objetos .....	78
Figura 27: Etapas do projeto do artefato selecionado.....	78
Figura 28: Exemplo de foto pré-processada pelo aplicativo Image Labeler: A) foto sem rótulo B) foto com rótulo. ....	80
Figura 29: Exemplos das variáveis da matriz de confusão.....	83
Figura 30: Captura das imagens com o VANT .....	87
Figura 31: Exemplo de frame retirado dos vídeos.....	87
Figura 32: Exemplo de imagem capturada com celular .....	88
Figura 33: Imagens resultantes do treinamento: a) falso positivo e b) falso negativo .....	89
Figura 34: Identificação do falso positivo e falso negativo.....	90
Figura 35: Identificação de falso negativo .....	91
Figura 36: Imagem base em preto e branco.....	92
Figura 37: Média dos pixels da imagem base.....	92

Figura 38: Relatório com resultados exportado pelo artefato.....	93
Figura 39: Relatório com resultados em formato de planilha .....	93
Figura 40: Importação da planilha pelo Revit .....	94
Figura 41: Exemplo de aplicação do Threshold – NMS: a) detecção sem aplicação do Threshold — NMS — b) detecção após a aplicação do Threshold — NMS.....	95
Figura 42: Resultado de identificação na imagem 17.....	98
Figura 43: Resultado de identificação na imagem 36.....	98
Figura 44: Comparação entre valores reais e calculados.....	102
Figura 45: Relação entre dados reais e valores calculados.....	102

# 1 INTRODUÇÃO

A fim de conservar ou recuperar a capacidade funcional de uma edificação e de suas partes constituintes, diversas ações podem ser realizadas. O conjunto composto por essas ações é denominado de manutenção. Além disso, a manutenção de uma edificação visa atender às necessidades e à segurança dos usuários e deve ser orientada pelo processo de inspeção que, por sua vez, avalia o estado da edificação e das partes que a constitui (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

No caso específico de fachadas de edifícios, o processo de inspeção se torna ainda mais sensível, pois variáveis como altura, dificuldades de acesso e condições de exposição devem ser consideradas. Dependendo de como essas variáveis se apresentem, a tarefa de inspeção de fachadas pode tornar-se laboriosa e até mesmo perigosa (RUIZ *et al.*, 2021). Além da inspeção tradicional (*in situ*), a proposta de utilização de Veículo Aéreo Não Tripulado — VANT — para realização de inspeção tem ganhado destaque (KAVUMA; OCK; JANG, 2019). Ruiz *et al.* (2021), por exemplo, destacam que o uso de VANT reduz o tempo de realização da inspeção.

Em um levantamento bibliográfico, com o auxílio do *software* Start e considerando as principais bases de artigos científicos, percebeu-se uma carência de trabalhos que identificassem o descolamento cerâmico em fachadas utilizando VANT e visão computacional. A existência dessa carência foi evidenciada no trabalho apresentado por Pan e Zhang (2021).

Pan e Zhang (2021) realizaram uma revisão sistemática da literatura sobre o papel da inteligência artificial na engenharia civil. Os autores encontraram 30 trabalhos que utilizam visão computacional como metodologia aplicada a problemas da engenharia civil. No entanto, nenhum dos artigos analisados realizou identificação automatizada de deslocamento do revestimento cerâmico em fachadas. Essa constatação confirma a lacuna do conhecimento a ser preenchida.

No que tange à temática aqui abordada, os trabalhos de Ballesteros e Lordsleem Junior (2021), de Bauer, Castro e Silva (2015) e de Ruiz *et al.* (2021) merecem destaque, pois iniciaram a discussão sobre o problema analisado nessa pesquisa. Bauer, Castro e Silva (2015) mostraram em um estudo de caso em Brasília que a principal manifestação patológica detectada em fachadas em relação à ocorrência é o deslocamento do revestimento cerâmico. Por outro lado, Ruiz *et al.* (2021) propuseram o uso de processamento digital de imagens para detecção de fissuras em revestimentos cerâmicos.

Ballesteros e Lordsleem Junior (2021) discutiram o uso de VANT para inspeção de manifestação patológica em fachadas com revestimento cerâmico. No entanto, os autores não consideraram deslocamento cerâmico nem utilizaram visão computacional para automatizar o processo de inspeção.

Vale ressaltar ainda que propostas como a apresentada nessa tese, que visam à utilização de tecnologias, como inteligência artificial, para automatização de processos, contribuem para a inserção da indústria da construção civil na atual conjuntura mundial conhecida como “Indústria 4.0” ou “Quarta Revolução Industrial”.

Merece destaque ainda o fato de o tema “Indústria 4.0” começar a ser tratado no Brasil como uma solução na produção, segundo Ivale, Silva e Alencar (2021), a partir de 2016. No entanto, a partir desta data, ocorre um crescimento exponencial de trabalhos que tratam desse assunto. Entre os temas inerentes à Indústria 4.0, estudados no Brasil, o que mais se destaca é “internet das coisas”, sendo que inteligência artificial figura na quarta posição (IVALE; SILVA; ALENCAR, 2021).

Os desafios da implantação da Indústria 4.0 no Brasil se concentram na proposição e elaboração de uma estratégia direcionada para a melhoria dos níveis de qualificação e o aumento do investimento em pesquisa e, ao superá-los, o país alcançará a condição necessária para garantir investimentos da indústria brasileira, em especial na 4.0 (SOUZA, 2021).

É nesse contexto, então, de propor um método baseado nos fundamentos da Indústria 4.0 que a presente pesquisa se insere. Após a obtenção do levantamento fotográfico oriundo do processo de inspeção com VANT, o método proposto automatiza as fases de identificação, quantificação e planilhamento dos dados de deslocamento do revestimento cerâmico, por meio de computação em nuvem e visão computacional, a fim de conectar os resultados a programas da tecnologia BIM .

## 1.1 Justificativa e problema de pesquisa

Atualmente se discute nos principais fóruns econômicos a chamada “Quarta Revolução Industrial”. Essa revolução tem como base principal o crescimento tecnológico em todos os setores industriais. Nesse cenário, as empresas de construção devem atentar para a importância de adotar aplicações e técnicas de automação que possibilitem aumentar o sucesso dos negócios e elevar o nível de produtividade, desempenho e/ou segurança (NEWMAN *et al.*, 2020).



Apesar de conhecidas as vantagens de se utilizar novas tecnologias no processo construtivo, a inserção da indústria da construção civil nesse cenário ainda é um desafio (MASKURIY *et al.*, 2019). Na contramão à adoção de tecnologia por indústrias avançadas, a da construção civil apresenta dificuldades em aderir às inovações tecnológicas. Alguns fatores caracterizam tal dificuldade, como: custos elevados associados à adoção de novas tecnologias; recursos de treinamento necessários para aplicar mudanças e inovações tecnológicas; e uma relutância em romper os sistemas, processos e procedimentos tradicionais enraizados na indústria da construção (NEWMAN *et al.*, 2020).

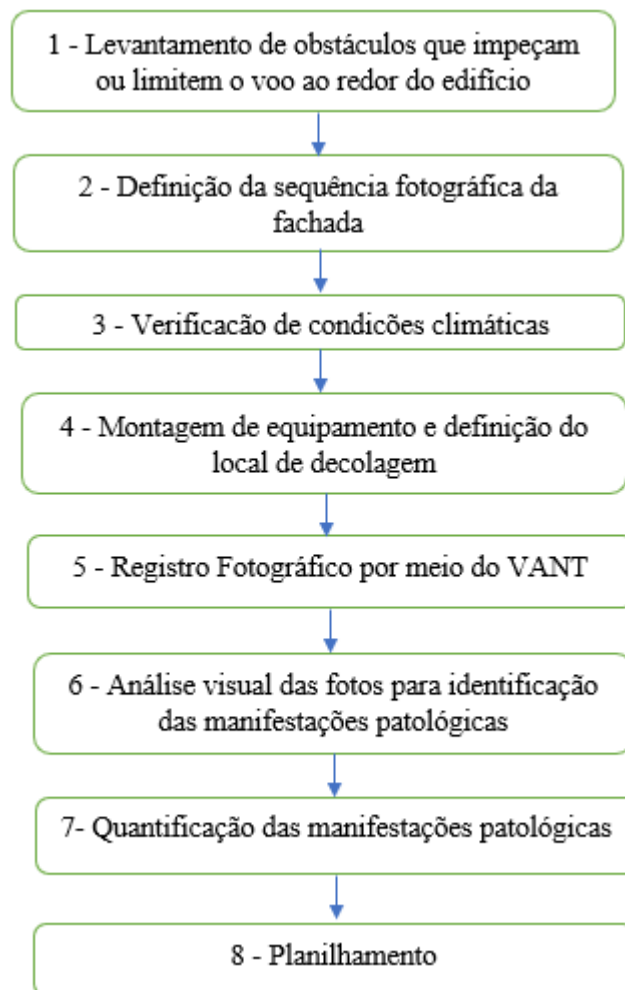
Um exemplo de como ações desenvolvidas na construção civil ainda são realizadas de maneira tradicional mesmo com todo o aparato tecnológico disponível é a execução de inspeção em fachadas de edifícios. Para essa tarefa, a inspeção visual continua a ser o método mais importante para a avaliação das condições físicas e visuais das fachadas dos edifícios (DIAS; FLORES-COLEN; SILVA, 2021).

Embora o processo tradicional de inspeção de fachadas ainda seja frequentemente empregado, uma gama de trabalhos científicos atuais aponta para a utilização de procedimentos tecnológicos na avaliação das condições das fachadas de edifícios como se observa na revisão de literatura apresentada por Pan e Zhang (2021).

Entre as técnicas utilizadas na inspeção de fachadas, destaca-se o uso de tecnologia infravermelha no processo de detecção de manifestações patológicas em fachadas (BAUER; MILHOMEM; AIDAR, 2018). Para além das técnicas clássicas de inspeção e as baseadas em termografia, metodologias que utilizam processamento digital de imagens e VANT se têm mostrado eficazes e seguras (BALLESTEROS; LORDSLEEM JUNIOR, 2021).

O processo de inspeção de fachadas utilizando VANT é mais rápido do que o tradicional. Esse método de inspeção se constitui de 8 (oito) etapas iniciadas com levantamento de obstáculos e culmina no planilhamento dos resultados (SLOSASKI, 2021). Na Figura 1 é apresentado o fluxograma das etapas de execução de uma inspeção com VANT.

Figura 1: Etapas da inspeção com VANT



Fonte: Slosaski (2021)

Para se compreender a proposta apresentada nesse trabalho, destaca-se o tempo de execução das 3 últimas etapas ilustradas na Figura 1, a saber, a localização das manifestações patológicas nas fotos (identificação), a quantificação e o planilhamento.

Slosaski (2021), por exemplo, realizou inspeção com VANT em 4 edifícios distintos na cidade de Curitiba (PR) e comparou os tempos de execução da inspeção. Na Tabela 1, há as informações sobre os tempo gastos para coleta de imagens utilizando o VANT e para que o engenheiro realizasse as etapas de identificação, quantificação e planilhamento nas quatro inspeções realizadas.

Tabela 1: Extratificação do tempo nas etapas da inspeção por VANT

<b>Edifício</b>	<b>Tempo de voo</b>	<b>Identificação, quantificação e planilhamento</b>
A	3 horas	16 horas
B	2 horas	12 horas
C	1,5 hora	16 horas
D	2 horas	14 horas
<b>Média</b>	<b>2,1 horas</b>	<b>14,5 horas</b>

Fonte: Slosaski (2021)

Percebe-se observando a Tabela 1 que, apesar do tempo para captura das imagens ser em média pequeno, o processo de identificação, quantificação e planilhamento ainda é longo. Diante dos resultados apresentados na Tabela 1, nota-se a importância, em termos de tempo, de se automatizar o processo de identificação, quantificação e planilhamento dos dados obtidos por meio de filmagem com VANT. É nessa perspectiva, então, que o presente trabalho é apresentado, pois o objetivo aqui é realizar automação das etapas pós-captura das imagens no processo de inspeção por VANT e assim diminuir principalmente o tempo de inspeção por VANT.

Diante do exposto, desenvolveu-se a pergunta de pesquisa norteadora desse trabalho: como detectar e quantificar em uma planilha, de maneira automatizada, áreas de fachadas de edifícios com deslocamento cerâmico?

Com base na pergunta de pesquisa elaborada, a principal hipótese a ser levantada é a seguinte: os algoritmos de visão computacional são capazes de identificar objetos como carro, motos e bicicletas ou até mesmo animais como cão, gato e cavalo. Então, esses mecanismos podem ser capazes de identificar manifestações patológicas, como o deslocamento do revestimento cerâmico em fachadas de edifícios.

É importante salientar que responder satisfatoriamente à pergunta de pesquisa implica contribuir cientificamente ao estado da arte do tema abordado e ainda iniciar um processo que pode culminar na obtenção de um produto comercial. Tal produto consiste em um mecanismo (*software*) para uso empresarial. Essas duas possibilidades são, portanto, instigadoras e desafiadoras e agregam em muito a execução desse projeto de pesquisa.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo principal apresentar um artefato computacional para detecção e mensuração automatizada de deslocamento do

revestimento cerâmico em fachadas de edifícios, utilizando conceitos e princípios inerentes à Indústria 4.0. A proposta de automatização é baseada na utilização de técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), como algoritmos de visão computacional e algoritmos de clusterização.

## 1.2 Objetivos

Tendo em vista a problemática descrita e a questão de pesquisa apresentada anteriormente, o objetivo geral e os específicos são descritos a seguir.

### 1.2.1 Objetivo geral

Propor um artefato, baseado em princípios da Indústria 4.0, capaz de realizar de maneira automatizada a identificação, a quantificação e o planilhamento de áreas com deslocamento do revestimento cerâmico em imagens de fachadas de edifícios.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a. Construir um banco de imagens utilizando câmera de celular e VANT para treinamento e teste de uma rede convolucional a fim de realizar identificação de regiões com deslocamento do revestimento cerâmico em fachadas de edifícios;
- b. Apresentar uma formulação matemática e computacional para o cálculo da área com ocorrência de deslocamento do revestimento cerâmico (quantificação);
- c. Gerar relatórios com a quantificação das áreas com deslocamento do revestimento cerâmico (planilhamento) que possam ser exportados para softwares da tecnologia BIM;
- d. Comparar o tempo gasto pelo engenheiro para realizar a identificação, a quantificação e o planilhamento como o tempo gasto com o método proposto.

## 1.3 Hipóteses

- a. Modelos de visão computacional são capazes de identificar áreas em fachadas de edifícios que possuem deslocamento do revestimento cerâmico;
- b. É possível desenvolver um modelo matemático e computacional capaz de determinar a quantidade de cerâmica necessária para realização da manutenção das fachadas;
- c. É possível combinar um algoritmo de visão computacional com uma metodologia de quantificação de áreas de cerâmicas deslocadas, a fim de gerar relatórios que

possam se utilizados em *softwares* da tecnologia BIM para auxílio em levantamentos de quantitativos.

#### 1.4 Limitações

Este trabalho apresenta características próprias que geram algumas limitações, como:

- a. Dificuldade em montar um *dataset* (banco de dados) robusto para treinamento dos modelos de visão computacional;
- b. Dificuldades no uso de veículos aéreos não tripulados;
- c. O tempo de processamento da fase de treinamento do modelo ainda é demasiadamente longo (em torno de 24 horas para cada treinamento).

#### 1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho apresenta sua estrutura constituída de seis capítulos, além das referências bibliográficas.

O capítulo 1 apresenta a introdução, na qual são realizadas a justificativa, a problematização de pesquisa e os objetivos do trabalho (divididos em geral e específicos), assim como descreve as limitações e a estrutura do trabalho.

No capítulo dois é realizada uma contextualização sobre princípios e conceitos referentes a Indústria 4.0. Entre os citados, destacam-se os temas relativos ao uso de Veículos Aéreos Não Tripulados na indústria da construção civil, a computação em nuvem, a visão computacional e a tecnologia BIM (*Building Information Modeling*).

No terceiro capítulo são apresentadas definições e discussões sobre inspeção, manutenção e recuperação de fachadas, além de uma abordagem sobre revestimento cerâmico, com ênfase nos elementos de fachada, nos agentes de degradação e nas manifestações patológicas.

No quarto capítulo é delineado o procedimento metodológico de pesquisa, enfatizando as fases que compõe a elaboração desse trabalho. No quinto capítulo são apresentados os resultados referentes às simulações. Por fim, no sexto e último capítulo são apresentadas as principais conclusões obtidas a partir do desenvolvimento dessa pesquisa e os principais desafios a serem superados.

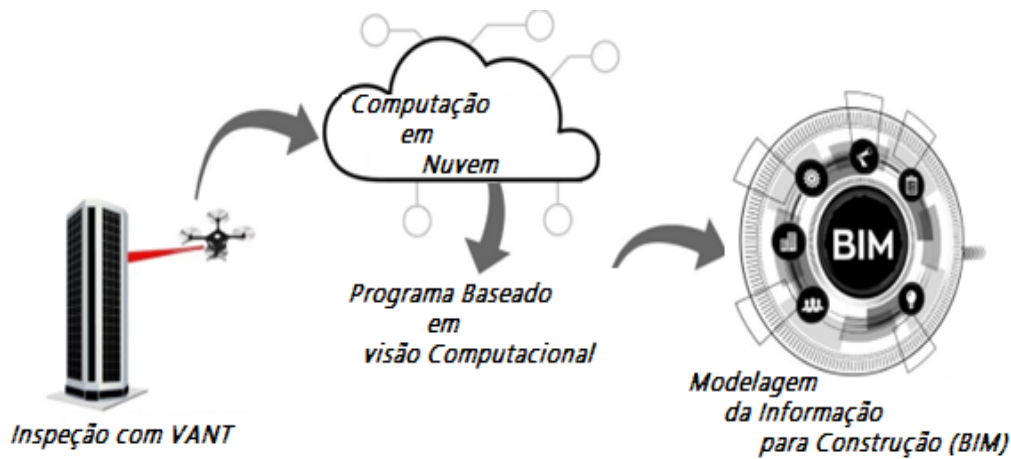
## 2 INDÚSTRIA 4.0: HISTÓRICO, CONCEITOS E PRINCÍPIOS

Os tópicos e os subtópicos abordados neste capítulo têm como objetivo fundamentar teoricamente a relação entre os procedimentos metodológicos propostos nesse trabalho e os conceitos e fundamentos da Indústria 4.0. A utilização de VANT na construção civil, por exemplo, é o método aqui utilizado para capturar imagens de fachadas de edifícios e assim montar uma base de dados para treinamento e teste da CNN.

Como a utilização de redes convolucionais, em geral, tem como requisito a aplicação em computadores com *hardwares* específicos, o que nem sempre está à disposição, então se optou por treinar o modelo convolucional em plataforma de computação em nuvem disponibilizada gratuitamente pela empresa *Google*. O uso de inteligência artificial (através das CNNs) e a metodologia de computação em nuvem também compõem o conjunto de princípios da Indústria 4.0 utilizados nesse trabalho.

Após a captura de imagens com VANT e o treinamento e teste da CNN na nuvem é proposto nesse trabalho a quantificação e planilhamento dos resultados a fim de serem exportados para softwares da tecnologia BIM. A Figura 2 resume a sequência de aplicações dos conceitos de indústria 4.0 utilizados nessa pesquisa e abordados nesse capítulo.

Figura 2: Princípios da Indústria 4.0 utilizados nessa pesquisa



Fonte: autora (2022)

Propor e executar uma metodologia que seja capaz de conectar os conceitos abordados nesse capítulo e resumidos na Figura 2 é o desafio desse trabalho. Os conceitos listados anteriormente serão melhor descritos no decorrer desse capítulo.

## 2.1 Histórico e conceitos

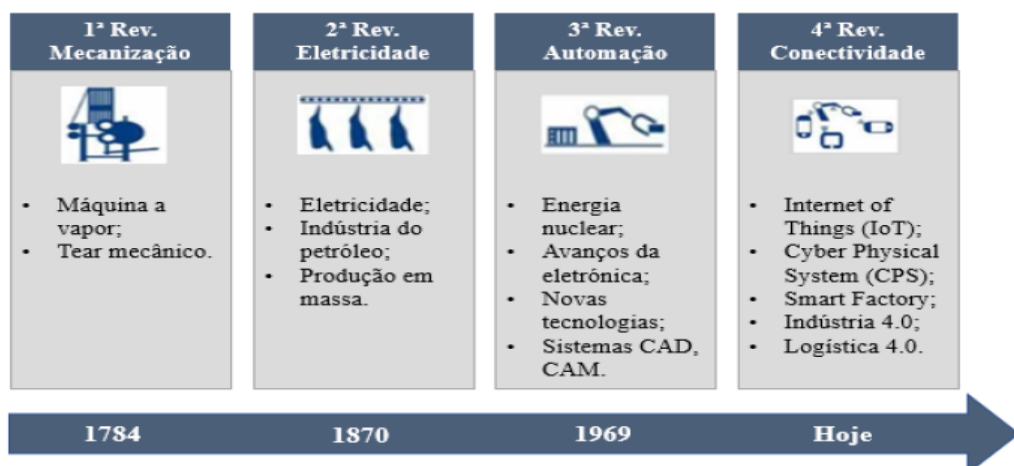
O termo Indústria 4.0 tem sua origem associada ao governo alemão quando iniciou o impulsionamento da manufatura informatizada em 2011 (MASKURIY *et al.*, 2019). Esse processo atualmente em curso é chamado por alguns autores de “Quarta Revolução Industrial” (NEWMAN *et al.*, 2020).

Santos *et al.* (2018) descrevem a evolução das chamadas “Revoluções Industriais”, caracterizando-as da seguinte forma:

- a. A Primeira Revolução Industrial teve como característica principal a transição do trabalho manual para o trabalho com máquinas alimentadas a vapor;
- b. A Segunda Revolução Industrial começou no século XX e se caracterizou com a introdução da eletricidade nos sistemas produtivos, pela produção em massa e pela divisão do trabalho;
- c. A terceira Revolução Industrial iniciada na década de 1970 é caracterizada pelo uso da eletrônica e tecnologia da informação (TI) como forma de aprimoramento dos processos de automação na produção;
- d. A Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 tem sido caracterizada pela combinação de tecnologias avançadas e recursos de internet.

É apresentada, de maneira resumida e para fins didáticos, na Figura 3 uma ilustração do desenvolvimento temporal e das principais características que marcaram as quatro Revoluções Industriais outrora citadas.

Figura 3: Histórico das Revoluções Industriais



Fonte: Santos *et al.* (2018)

No Brasil, o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (2019) juntamente com o Ministério da Economia lançaram em 2019 o “Plano de Ação da Câmara Brasileira da Indústria 4.0 do Brasil”, cujo objetivo é ser um instrumento que incentiva o uso de conceitos e práticas relacionados à Indústria 4.0. Deste modo, pretendia-se alcançar o aumento da competitividade e produtividade das empresas brasileiras, melhorando assim a posição do Brasil em índices globais de competitividade (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 2019).

A Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0, como mencionado por Santos *et al.* (2018), baseia-se no advento de tecnologias emergentes (ou tecnologias da Indústria 4.0), como por exemplo:

- a. Uso de Veículos Aéreos Não Tripulados — VANT (TANG; VEELTURF, 2019);
- b. Sistemas Ciberfísicos, Internet das Coisas, Internet dos Serviços, Big Data e Produção Inteligente (MASKURIY *et al.*, 2019);
- c. Inteligência Artificial (Aprendizagem Profunda) (PENUMURU; MUTHUSWAMY; KARUMBU, 2020);
- d. Computação em nuvem e BIM (Building Information Modelling) (NEWMAN *et al.*, 2020).

Tendo em vista que esse trabalho utilizará conceitos e técnicas relativos às tecnologias listadas em “a”, “c” e “d” e que essas tecnologias fazem parte do desenvolvimento da Indústria 4.0, segue nesse capítulo uma abordagem teórica sobre VANT, aprendizagem profunda, computação em nuvem e BIM.

## 2.2 Uso de Veículos Aéreos Não Tripulados na Construção Civil

Um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é uma aeronave que não carrega operador humano, usa forças aerodinâmicas para fornecer elevação e pode voar de forma autônoma ou ser pilotado remotamente (OFFICE OF THE SECRETARY OF DEFENSE, 2005). O Ministério da Defesa brasileiro define VANT como um veículo de pequeno porte, construído com materiais de difícil detecção, pilotado remotamente, usando asas fixas ou rotativas,, além de ser empregado para sobrevoar o alvo ou área de interesse com o objetivo de fornecer informações (BRASIL, 2004).

As primeiras aplicações do conceito de VANTs surgiram no final da década de 1840 quando austríacos atacaram a cidade de Veneza, na Itália, com balões não tripulados (OLIVEIRA, 2015). Por outro lado, no Brasil, os primeiros experimentos envolvendo VANTs ocorreram na década de 1980. Esses experimentos foram realizados pelo Centro



Tecnológico Aeroespacial (CTA) e tinham como objetivo ampliar o conhecimento das áreas de controle do centro (CARDOSO; QUEIROZ, 2018).

A principal característica dos Veículos Aéreos Não Tripulados é que eles podem ser controlados remotamente, permitindo alcançar locais de difícil acesso. Esses veículos são capazes de transportar sensores para registrar dados (visuais e de áudio) e transportar objetos tanto em operações de coleta quanto de entrega (TANG; VEELNTURF, 2019).

O fato de os VANTs serem controlados remotamente, combinado com o advento tecnológico imposto pela Indústria 4.0, permite que a utilização desse tipo de veículo seja bastante diversificada, indo desde o uso militar até ao simples lazer/hobby, perpassando por aplicações industriais/comerciais (DASTGHEIBIFARD; ASNAFI, 2018; OLIVEIRA, 2015). Segundo Dastgheibifard e Asnafi (2018), a área militar é a principal área de utilização dos VANTs, porém se prevê uma expansão de uso nas demais áreas.

Na construção civil, o uso de sistemas de voo não tripulado pode implicar em redução de: acidentes de trabalho, desperdício de material e custos de inspeção e levantamento (LIU *et al.*, 2021). Além dessas aplicações, os VANTs também já foram avaliados quanto sua aplicabilidade para avaliação de desastres e a inspeção e manutenção de estruturas, como rodovias e pontes (ERDELJ, 2016).

O uso de VANTs aplicados à redução de acidentes de trabalho consiste em utilizá-los em voos autônomos por meio de caminhos previamente traçados sobre o canteiro de obras. Tais voos proporcionam a visualização, em tempo real, de vários locais do canteiro e, caso se utilizem vários VANTs, diferentes locais podem ser vistos concomitantemente (ALIZADEHSALEHI *et al.*, 2020).

Já no que diz respeito à gestão de materiais, o uso de VANT propicia o rastreamento do número e localização de materiais, bem como o armazenamento e o transporte do mesmo. O rastreamento pode ser realizado por meio da combinação de VANT com tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID) (HUBBARD *et al.*, 2015).

Métodos de inspeção assistida por VANT implicam alguns pontos positivos, como a redução da exposição a situações perigosas para inspetores, a possibilidade de inspeções mais abrangentes do ambiente construído e a redução do tempo necessário para inspeções de projetos em grande escala (MOTAWA E KARDAKOU, 2018).

A utilização de VANTs em inspeções de barragens ou arranha-céus possibilita a coleta de dados para posterior processamento em modelos 3D a partir dos quais as detecções visuais poderiam ser realizadas (LIU *et al.*, 2021). Além de se criarem modelos 3D para realização

de inspeção visual, programas para agilizar a detecção automática de patologias podem ser desenvolvidos e, conseqüentemente, os especialistas em inspeção precisariam apenas confirmar os dados obtidos com o modelo de automação (ASHOUR *et al.*, 2016).

Apesar do crescente interesse pela utilização de VANT em aplicações de Engenharia Civil, esse tipo de tecnologia ainda é recente no Brasil e carece de estudos mais aprofundados (TONDELO E BARTH, 2019). Tendo em vista essa situação, Tondelo e Barth (2019) buscaram analisar os aspectos relativos à durabilidade das fachadas industrializadas enfatizando os processos de inspeção.

Larah (2019) utilizou imagens capturadas por VANT a fim de analisar de forma qualitativa as patologias encontradas em fachada de edificações. A autora chama atenção para o fato de esse método de inspeção reduzir bastante o tempo de inspeção e a quantidade de pessoas para realizar a tarefa. Para Larah (2019), o uso do VANT possibilitou que a inspeção de dois prédios de 7 andares fosse feita em duas horas, com apenas uma pessoa.

Além de contribuir na fase de inspeção de fachadas, o VANT possibilita a geração de mapas de danos, pois deste modo é possível capturar fotografias normais ao plano da fachada, o que proporciona geração de modelos e obtenção de ortoimagens. Aplicando técnicas de processamento de imagens nas ortoimagens, consegue-se gerar mapas de danos em fachadas (MELO JÚNIOR *et al.*, 2018).

Observando os trabalhos relacionados a pesquisas que investigam o uso de VANT na construção civil, nota-se que essa tecnologia resulta em uma diversidade de aplicações que vão desde o uso em minimizar o número de acidentes de trabalho até inspeção de fachadas e construção de modelos 3D com base em captura de imagens. Um resumo de algumas aplicações do uso de VANT está apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Aplicações do uso de VANT na construção civil

Autor	Aplicação
Kerle <i>et al.</i> (2019)	Identificação de danos estruturais
Pereira e Pereira (2015)	Identificação de rachaduras
Liu <i>et al.</i> (2021)	Prevenção de acidentes de trabalho
Erdeu (2016)	Inspeção de rodovias e pontes
Melo Júnior <i>et al.</i> (2018)	Inspeção de fachadas
Alizadehsalehi <i>et al.</i> (2020)	Prevenção de acidentes de trabalho
Hubbard <i>et al.</i> (2015)	Gestão de materiais
Sreenath <i>et al.</i> (2020)	Identificação de danos estruturais
Larah (2019)	Inspeção de fachadas

Fonte: autora (2023)

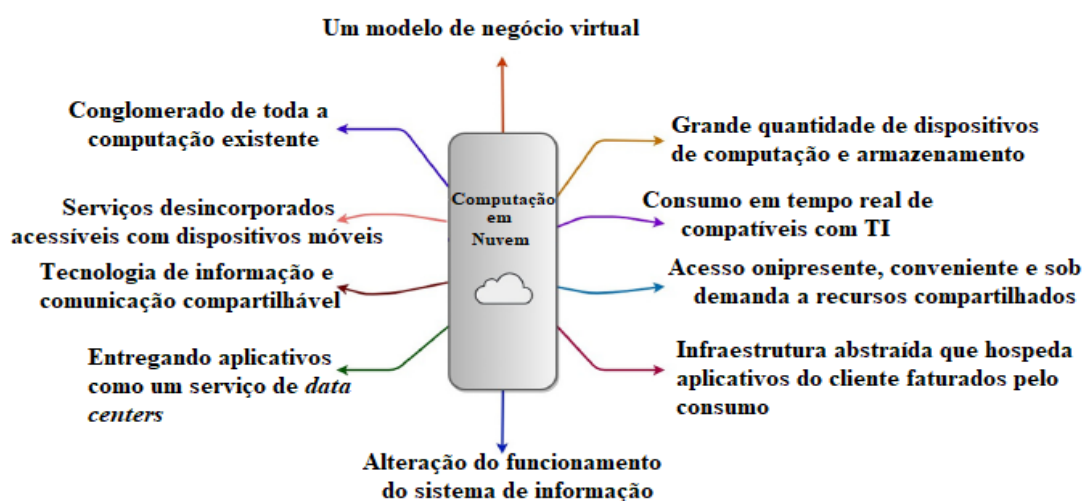
O uso do VANT no processo de inspeção é relevante na etapa de captura das imagens, que em seguida devem ser armazenadas e processadas. No contexto da Indústria 4.0, tem sido cada vez mais comum fazer o emprego da “nuvem” para armazenar e processar dados. Tendo em vista que na proposta dessa tese consta o uso da nuvem como plataforma de armazenamento e processamento das imagens capturadas com o VANT, então se procurou na subtópico a seguir apresentar os principais conceitos e aplicações referentes ao uso da “nuvem”.

### 2.3 Computação em Nuvem

Os conceitos de computação em nuvem são baseados na forma como os recursos de hardware e software são gerenciados e utilizados (BELLO *et al.*, 2021). Para Acquarone *et al.* (2019), o conceito de computação em nuvem corresponde à disponibilização de instrumentos, como unidades de processamento desvinculadas dos equipamentos físicos sob a posse dos usuários.

Computação em Nuvem (*Cloud Computing*) consiste em uma tecnologia disponível para diversos tipos de usuários e, utilizando a internet, propicia o uso remoto de recursos da computação, como programas e informações (MOREIRA, CARVALHO E SILVEIRA, 2020). O conceito de computação em nuvem, segundo Acquarone *et al.* (2019), refere-se à substituição de equipamentos físicos tradicionalmente responsáveis por oferecer recursos orientados-a-serviços por unidades com alto grau de escalabilidade. As definições de computação em nuvem são inúmeras (Figura 4).

Figura 4: Definições para Computação em Nuvem



Fonte: Traduzido de Bello *et al.* (2021)

Apesar da diversidade de definições, Bello *et al.* (2021) ressaltam que a mais aceita é a dada por Mell e Gance (2011) do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST), que define computação em nuvem como um modelo no qual é permitido o acesso à rede com as seguintes características:

- a. sob demanda a um *pool* compartilhado de recursos de computação configuráveis;
- b. pode ser rapidamente provisionado;
- c. liberado com mínimo esforço de gerenciamento ou interação com o provedor de serviços.

Embora faça parte dos pilares da Indústria 4.0, a computação em nuvem tem sua origem na década de 1960 quando John McCarthy introduziu a ideia de que a computação poderia ser organizada na forma de um serviço de utilidade pública, no qual uma agência de serviços o disponibilizaria e cobraria uma taxa para seu uso (CHIRIGAT, 2020).

Chirigat (2020) destaca que em 1999 apareceu um dos primeiros marcos para a computação nas nuvens. Esse marco, segundo o autor, se deu a partir do surgimento da primeira empresa (*Salesforce*) a disponibilizar aplicações empresariais através da Internet. A partir de então, outras empresas também começaram a investir nessa área, como a *Amazon*, a *Google*, a *IBM* e a *Microsoft*.

### 2.3.1 Características da Computação em Nuvem

O conceito de computação em nuvem apresentada por Mell e Gance (2011) pressupõe um modelo composto por cinco características essenciais, três modelos de serviço e quatro modelos de implantação.

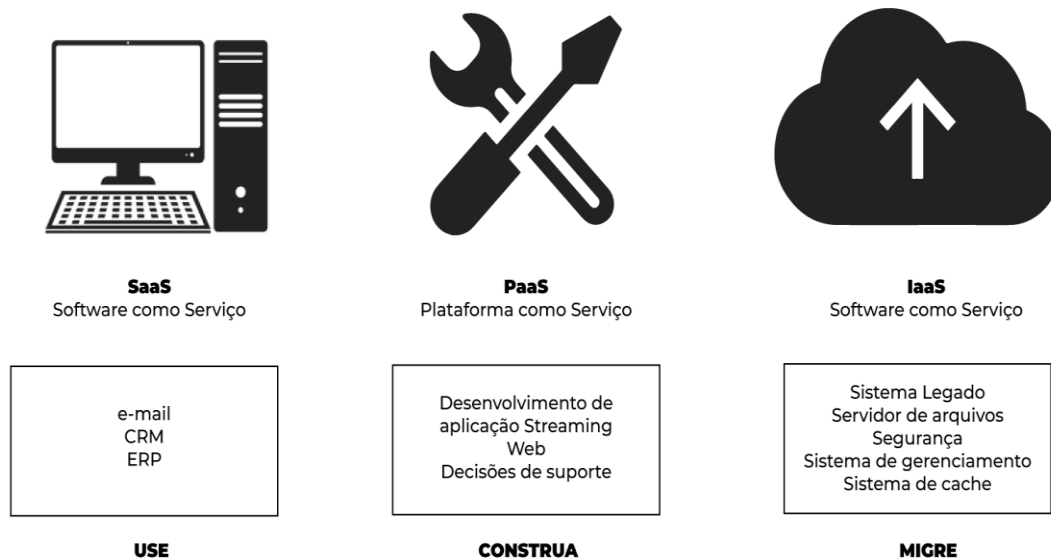
As características essenciais e suas definições, segundo Mell e Gance (2011), são:

- a. Autoatendimento sob demanda: essa característica permite que um consumidor possa fornecer recursos de computação unilateralmente, sem a necessidade de interação humana com cada provedor de serviço;
- b. Amplo acesso à rede: de acordo com essa característica, os recursos estão disponíveis na rede e são acessados por meio de mecanismos padrão, que promovem o uso por plataformas heterogêneas, como telefones celulares, tablets, laptops e estações de trabalho;
- c. Agrupamento de recursos: segundo essa característica, os recursos de computação do provedor são agrupados para atender a vários consumidores com diferentes recursos físicos e virtuais atribuídos e reatribuídos dinamicamente de acordo com a demanda do consumidor;

- d. Elasticidade rápida: essa característica permite que as capacidades possam ser elasticamente provisionadas e liberadas, em alguns casos automaticamente, para escalar rapidamente para fora e para dentro, de acordo com a demanda;
- e. Serviço medido: a controlabilidade e otimização do uso de recursos são realizados automaticamente.

Os modelos de serviço são compostos por três categorias: software como serviço (SaaS — *Software as a Service*), infraestrutura como serviço (IaaS — *Infrastructure as a Service*) e Plataforma como um Serviço (PaaS — *Platform as a Service*). Os modelos de serviço estão ligados a temas como “use”, “construa” e “migre” (MOREIRA; CARVALHO; SILVEIRA, 2020). Um resumo esquemático dos modelos de serviço é apresentado na Figura 5.

Figura 5: Resumo dos modelos de serviço



Fonte: Moreira, Carvalho, Silveira (2020)

As categorias SaaS, PaaS e IaaS possibilitam que sejam definidas medidas de arquiteturas correspondentes à necessidade de cada momento (MOREIRA; CARVALHO; SILVEIRA, 2020). Essas categorias podem ser definidas da seguinte forma:

- a. *Software* como serviço (SaaS — *Software as a Service*): nessa categoria, o recurso fornecido ao consumidor é usar os aplicativos do provedor em execução em uma infraestrutura em nuvem (MELL; GRANCE, 2011);
- b. Infraestrutura como serviço (IaaS — *Infrastructure as a Service*): neste serviço, aluga-se o *Hardware* que age como um provedor de serviços dando ao cliente acesso e

controle total para armazenar suas informações (MOREIRA; CARVALHO; SILVEIRA, 2020);

- c. Plataforma como um Serviço (PaaS — *Platform as a Service*): nessa categoria, é oferecida ao usuário uma infraestrutura de alto nível de integração para implementar e testar aplicações na nuvem. Compõe essa infraestrutura um sistema operacional, linguagens de programação e ambientes de desenvolvimento para as aplicações (SOUSA, 2009).

O terceiro eixo que constitui a definição de computação em nuvem são os chamados modelos de implantação que, segundo Mell e Gance (2011), são os seguintes:

- a. Nuvem privada: apenas uma única organização composta por diversos consumidores pode utilizar a infraestrutura de nuvem;
- b. Nuvem da comunidade: a infraestrutura de nuvem é fornecida para uso exclusivo por uma comunidade específica de consumidores de organizações que compartilham preocupações;
- c. Nuvem pública: a infraestrutura em nuvem é fornecida para uso aberto pelo público em geral;
- d. Nuvem híbrida: a infraestrutura de nuvem é uma composição de duas ou mais infraestruturas de nuvem distintas (privada, comunidade ou pública).

O modelo de computação em nuvem está ligado a diversas técnicas de modelagem computacional, como as redes neurais convolucionais e a modelagem de informação da construção. No caso das redes convolucionais, a computação em nuvem, entre outras coisas, auxilia no processamento de grande quantidade de dados (ESHRAFIFAR; PEDRAM, 2018).

Já no caso da modelagem de informação da construção, a computação em nuvem permite a trocas de informação entre os diversos agentes do setor da construção, mesmo que estes estejam fisicamente dispersos (ACQUARONE *et al.*, 2019). É nesse contexto então que serão apresentados a seguir os tópicos referentes a redes convolucionais e modelagem de informação da construção.

### 2.3.2 Google Colab

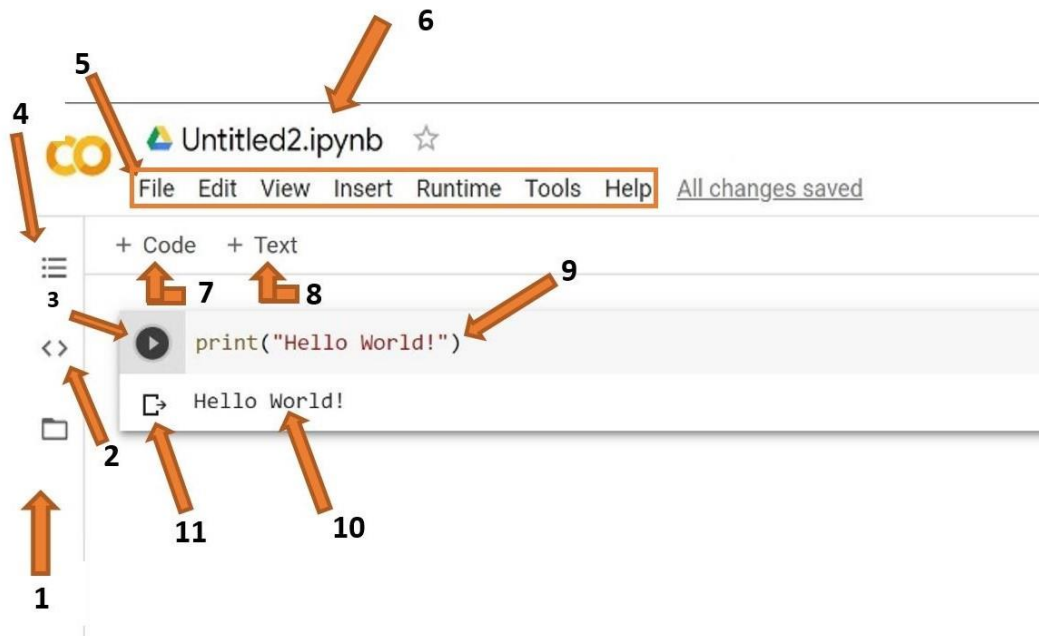
*Google Colaboratory* ou *Google Colab* é uma ferramenta em nuvem e de acesso aberto disponibilizada pela Google para aplicação de conhecimentos de programação na linguagem Python (PRASHANTH *et al.*, 2021; DA SILVA, 2020).

O *Google Colab* consiste em uma máquina virtual, denominada de notebook, em que o usuário desenvolve aplicações em python, contando com as seguintes vantagens (DA SILVA, 2020):

- a. Aceleração de GPU grátis;
- b. Bibliotecas pré-instaladas: todas as principais bibliotecas Python;
- c. Construído com base no Jupyter Notebook;
- d. Recurso de colaboração (funciona com uma equipe igual ao Google Docs): permite que os desenvolvedores usem e compartilhem o Jupyter notebook entre si sem precisar baixar, instalar ou executar qualquer coisa;
- e. Os programas feitos no *Google Colab* são armazenados na nuvem (*Google Drive*).

Após estar “logado” em uma conta de e-mail da *Google* o usuário pode acessar a ferramenta *Google Colab* por meio do link <https://colab.research.google.com/> clicando em “novo notebook”. A maioria das opções disponíveis na interface da ferramenta é bastante intuitivas. Miller *et al.* (2022) apresentam um resumo das principais funcionalidades dos “botões” da interface do *colab* (Figura 6).

Figura 6: Parte da interface do Google Colab



Fonte: Miller *et al* (2022)

1. **Arquivos:** nesse botão é possível fazer *upload* de conjuntos de dados e outros arquivos do seu computador e do *Google Drive*;
2. **Trechos de código:** essa funcionalidade possibilita encontrar trechos de código pré-escritos para diferentes funcionalidades, como adicionar novas bibliotecas;

3. **Executar célula:** esse é o botão de execução. Clicar nele executará qualquer código inserido na célula ao lado dele. O atalho shift+enter também pode ser utilizado para executar a célula atual e sair para uma nova;
4. **Índice:** aqui é possível criar e percorrer diferentes seções dentro do notebook. As seções permitem a organização do código e melhora a legibilidade;
5. **Barra de menu:** como em qualquer outro aplicativo, essa barra de menu pode ser usada para manipular o arquivo inteiro ou adicionar novos arquivos;
6. **Nome do arquivo:** esse é o nome do arquivo\programa. Clicando nesse campo pode-se alterar o nome do mesmo. No entanto, não se deve editar a extensão (.ipynb) enquanto estiver renomeando o arquivo, pois isso pode tornar o arquivo impossível de abrir;
7. **Inserir célula de código:** esse botão adicionará uma célula de código abaixo da célula selecionada no momento;
8. **Inserir célula de texto:** esse botão adicionará uma célula de texto abaixo da célula selecionada no momento;
9. **Célula:** é aqui que se escreve o código ou adicionar texto, dependendo do tipo de célula;
10. **Saída:** essa é a saída do seu código, incluindo quaisquer erros, que serão mostrados
11. **Limpar Saída:** esse botão removerá a saída.

Como já ressaltado anteriormente, o *Google Colab* é uma excelente ferramenta em nuvem para execução de aplicações em Python. Prashanth *et al* (2021) destacam a utilização dessa ferramenta para execução computacional de técnicas de Aprendizado de Máquina (AM). Algumas dessas técnicas são apresentadas no tópico a seguir.

## 2.4 Técnicas de Aprendizado de Máquina — AM

O conceito de Inteligência Artificial (IA) está relacionado à confecção de máquinas que, programadas previamente, tenham a “capacidade de aprender”, ou seja, está ligada diretamente ao aprendizado de máquina. O aprendizado de máquina é o conjunto de técnicas computacionais cujo objetivo é a construção de sistemas capazes de adquirir conhecimento de forma automática (DAMACENO; VASCONCELOS, 2018). Entre as diversas técnicas de Aprendizado de máquina podem ser citadas as Redes Neurais e o algoritmo de clusterização *k-means*.

Nos subtópicos seguintes, serão abordados os principais conceitos referentes às técnicas de aprendizado de máquina conhecidas como redes neurais (Artificiais e



Convolucionais), detecção de objetos e o algoritmo *k-means*, pois são técnicas utilizadas no desenvolvimento dessa pesquisa.

#### 2.4.1 Redes Neurais Artificiais

Inteligência Artificial - IA é um tópico muito amplo e está relacionado com diversas áreas entre as quais estão as relacionadas às Redes Neurais Artificiais — RNA (HONÓRIO, 2010). Apesar de os conceitos referentes à RNA estarem intimamente ligados às aplicações com computadores, os primeiros modelos de redes surgiram anteriormente à criação das primeiras máquinas eletrônicas de processamento de dados (computador) (MCCULLOCH; PITTS, 1990). Foi então, no ano de 1943, que McCulloch e Pitts apresentaram o primeiro modelo cujo objetivo era reproduzir matematicamente o funcionamento neuronal (MCCULLOCH; PITTS, 1990).

Rosenblatt (1958) apresentou à comunidade acadêmica diversas teorias sobre como seria possível um sistema nervoso hipotético responder matematicamente às questões principalmente sobre o processamento de informações realizado por um neurônio. O presente trabalho teve como proposta central a apresentação do primeiro “neurocomputador”, que recebeu o nome de *Perceptron*.

Embora fosse considerada uma descoberta de destaque, o *perceptron* tinha suas aplicações restritas ao reconhecimento de padrões simples. Um melhoramento do *Perceptron* veio logo em seguida (dois anos depois) quando Widrow e Hoff (1960) desenvolveram o *ADaptive LINnear Element* (ADALINE) (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2016).

O perceptron e a rede ADALINE representaram para época um avanço na área, porém diversas questões ainda precisavam de respostas e/ou soluções e tinham como essência a inaptidão dos modelos em identificar padrões que não fossem linearmente separáveis. Esse problema, então, tornou-se o desafio da época e ficou conhecido com o problema do “ou exclusivo” (Xor) (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2016). O livro *Perceptron — in introduction to computational geometry*, lançado em 1969 e cuja última edição data de 2017, traz uma abordagem mais detalhada sobre o problema do “ou exclusivo” (MINSKY; PAPERT, 2017).

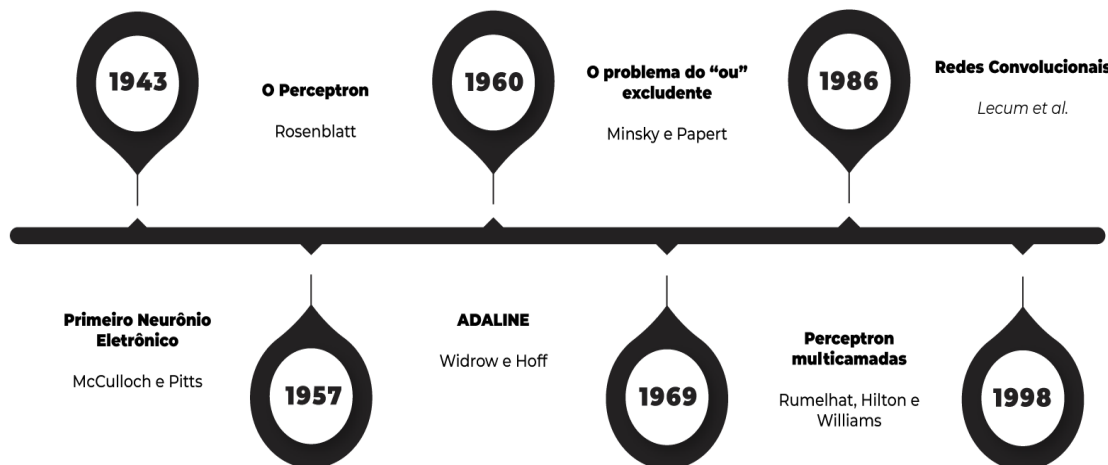
Um outro marco no desenvolvimento dos modelos neurais foi o lançamento, em 1980, do livro *Distributed Processing* escrito por Rumelhat, Hilton e Williams. Esse livro surgiu em meio ao início do avanço computacional e da elaboração de mecanismos de otimização robustos e apresenta um algoritmo capaz de ajustar os pesos de uma RNA com

mais de uma camada. A elaboração desse algoritmo pôs fim ao problema de aprendizado dos padrões não linearmente separáveis. Esse algoritmo ficou conhecido como *backpropagation* (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2016).

A criação do algoritmo *backpropagation*, além de solucionar o problema do XOR, contribuiu para criação de diversas estruturas de RNAs com base na ideia de múltiplas camadas, chegando até as mais recentes conhecidas com redes de “aprendizado profundo”, ou seja, as Deep Neural Network (LECUN; BENGIO; HINTON, 2015).

Lecun *et al.* (1998) publicaram o artigo intitulado “Gradient-based learning applied to document recognition” e assim estabeleceram um marco sobre o desenvolvimento de tema redes neurais convolucionais (LECUN; BENGIO; HINTON, 2015). A Figura 7 ilustra, de maneira resumida, o processo histórico do desenvolvimento das Redes Neurais Artificiais.

Figura 7: Desenvolvimento histórico das Redes Neurais



Fonte: Adaptado de Luz (2018)

#### 2.4.2 Redes Neurais Convolucionais

Redes Neurais Artificiais (RNA) são algoritmos computacionais capazes de aprender padrões. Esses algoritmos/modelos são inspirados no comportamento biológico do cérebro humano. Os modelos de RNA são usados em diversas aplicações, como no processamento digital de imagem (KHATCHATOURIAN; PADILHA, 2008), e os mais comuns no processamento digital de imagens (PDI) são as das Redes Neurais Convolucionais (CNN) (KATTENBORN, 2021).

As redes convolucionais são um tipo especializado de rede neural para processamento de dados que tem uma topologia conhecida como grade: por exemplo, dados

de série temporal, que podem ser considerados como uma grade 1-D, e dados de imagem, que podem ser avaliados como uma grade 2-D de pixels (LECUN *et al.*, 1998).

O nome “Rede Neural Convolutiva” ou “Rede Convolutiva” ou simplesmente CNN indica que a rede emprega uma operação matemática chamada convolução que, em sua forma mais geral, é uma operação entre duas funções  $x(t)$  e  $w(t)$  definida conforme equação 1 (GOODFELLOW; BENGIO; COURVILLE, 2016):

$$s(t) = (x * w)(t) = \int x(a)w(t - a)da \quad (1)$$

O índice de tempo  $t$  pode assumir apenas valores inteiros, e assim se define a convolução discreta de acordo com a equação 2.

$$s(t) = (x * w)(t) = \sum_{a=-\infty}^{\infty} x(a) w(t-a) \quad (2)$$

Podem-se usar convoluções em mais de um eixo por vez, como em uma imagem bidimensional  $I$  e um *kernel*  $K$  bidimensional. Dessa forma, a equação 3 define matematicamente a convolução em duas dimensões (GOODFELLOW; BENGIO; COURVILLE, 2016):

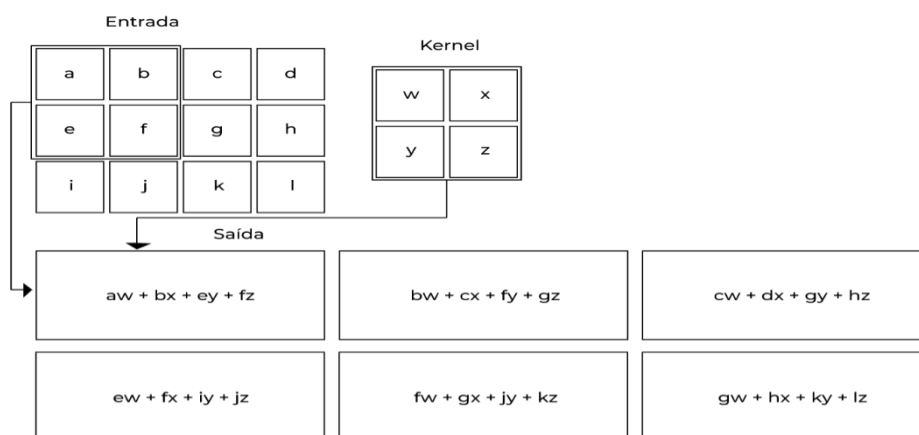
$$S(i,j) = (I * K)(i,j) = \sum_m \sum_n I(m,n)K(i - m, j - n). \quad (3)$$

Uma das propriedades da operação convolução é a comutatividade, ou seja, pode-se escrever de forma equivalente (equação 4):

$$S(i,j) = (K * I)(i,j) = \sum_m \sum_n I(i - m, j - n)K(m,n). \quad (4)$$

A Figura 8 ilustra como ocorre a operação de convolução em duas dimensões.

Figura 8: Exemplo de convolução em uma imagem



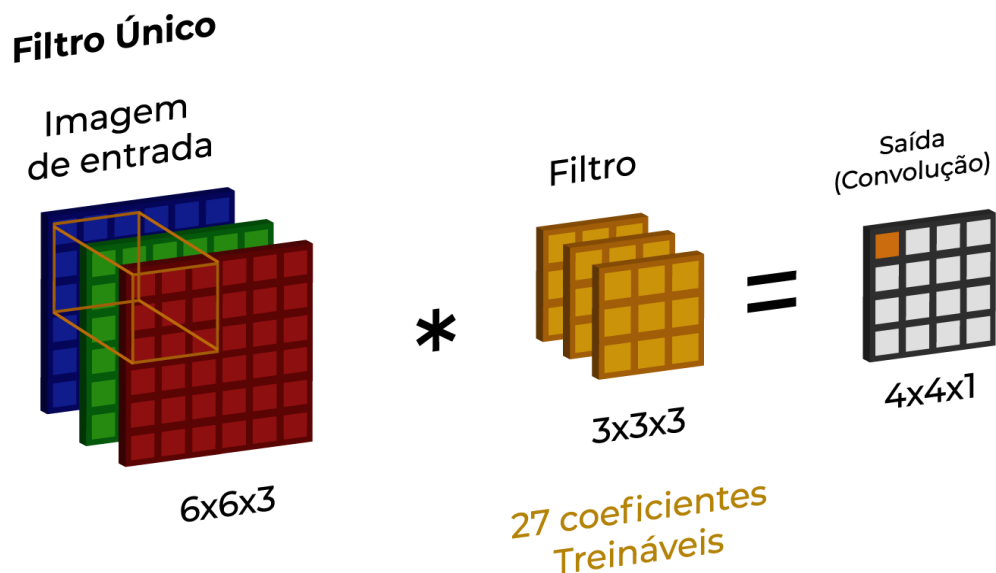
Fonte: Goodfellow; Bengio e Courville (2016)

A operação de convolução tem por objetivo extrair características inerentes aos dados apresentados a rede. Cada filtro (kernel) usado na convolução consiste em uma matriz de

ordem  $n \times n$  com tamanho predeterminado. A dimensão de cada filtro é inversamente proporcional à quantidade de características por área da imagem (ZANGRANDI, 2019).

A implementação da operação de convolução (como ilustrado na Figura 8) se dá então deslizando cada filtro pela imagem, aplicando o produto escalar entre o filtro e o pedaço da imagem em que se encontra, até o filtro passar por todos os pontos da imagem de entrada (ZANGRANDI, 2019). A Figura 9 demonstra como a camada convolucional funciona. A saída do processo convolucional é uma imagem composta pelas características extraídas.

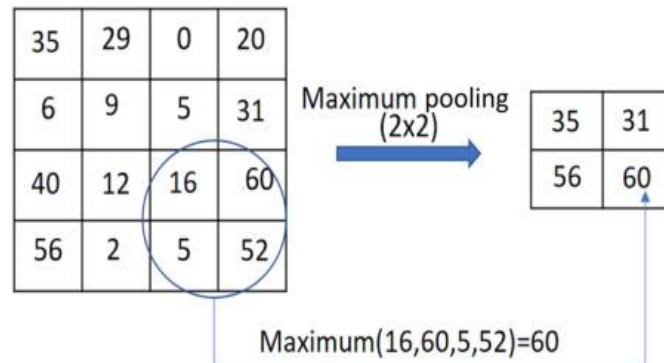
Figura 9: Demonstração de como os filtros funcionam em camadas convolucionais



Fonte: Zangrandi (2019)

Em uma CNN, após as camadas convolucionais, normalmente se encontram as camadas conhecidas como “agrupamento” (pooling). Essas camadas têm a incumbência de diminuir o tamanho da imagem de entrada a fim de haver menos uso de memória e parâmetros utilizados além de controlar overfitting (sobreajuste), ou seja, reduzir o tamanho do mapa de ativação por meio de subamostragem. O método de subamostragem mais adotada é a abordagem de valor máximo (Figura 10) (SINGH, 2020).

Figura 10: Exemplo de subamostragem de valor máximo



Fonte: Singh (2020)

A operação conhecida como ReLU tem por objetivo substituir todos os valores negativos por zero. Para essa tarefa é utilizada uma função de ativação aplicada elemento a elemento. Essa função é definida de acordo com a equação 5 (ALHEEJAWI, 2020):

$$f = \max(0, y) \quad (5)$$

em que  $y$  é o elemento de entrada para ReLU, e  $f$ , a saída.

Quando o objetivo do Processamento Digital de Imagens (PDI) é identificação de objetos, a rede convolucional conhecida como YOLO (You Only Look Once) se tem destacado (BARREIROS *et al.*, 2021). A realização de PDI utilizando CNN tem culminado em uma diversidade de aplicações, como detecção de rosto humano (ALI-GOMBE *et al.*, 2021), de objetos em estradas rurais (BARBA-GUAMÁN *et al.*, 2021), de objetos subaquáticos (AYOB *et al.*, 2021), de capacete de trabalhador da construção civil (ZHANG *et al.*, 2021) e até mesmo para o monitoramento do uso de máscara em tempo de pandemia (LOEY *et al.*, 2021).

As camadas de uma CNN do tipo YOLO são compostas por quatro tipos de operações: convolução, *max pooling*, ReLU e *batch normalization* (ALHEEJAWI, 2020). Como as três primeiras operações já foram determinadas anteriormente, define-se então a seguir a *batch normalization*.

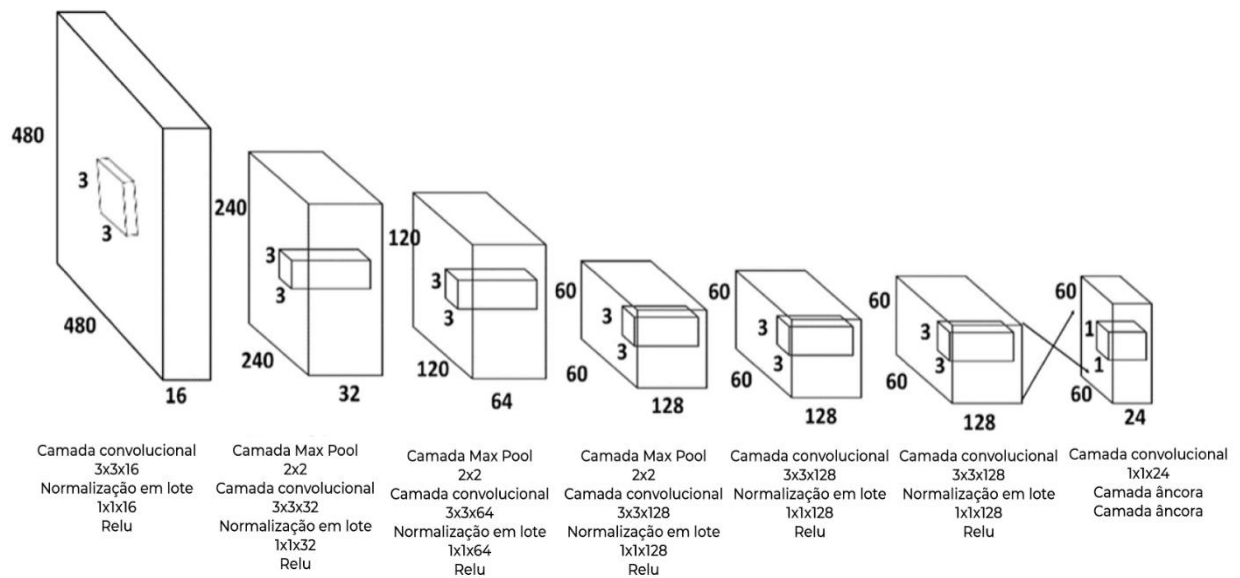
A operação de *batch normalization* executa a normalização dos elementos  $x_i$  de entrada. Essa normalização é realizada considerando a média  $\mu$  e a variância  $\sigma^2$  sobre as dimensões espaciais para cada canal independentemente. A equação 6 indica como é realizada a operação de normalização em lote (ALHEEJAWI, 2020).

$$x_{norm} = \frac{x_i - \mu}{\sqrt{\sigma^2 + \epsilon}} \quad (6)$$

em que  $x_{norm}$  é a amostra normalizada, e  $\epsilon$  é uma constante que está ligada diretamente à estabilidade numérica, principalmente quando a variância é próxima de zero.

A maneira como as operações descritas anteriormente estão organizadas na estrutura de uma CNN do tipo YOLO pode ser observada na Figura 11.

Figura 11: Arquitetura da CNN YOLO



Fonte: Barreiros (2021)

Na última camada da YOLO (Anchor Layer), é feita, portanto, a detecção dos objetos que se deseja identificar. Nessa camada, são definidas as caixas delimitadoras que enquadram os objetos, como a região na qual houve destacamento cerâmico. Vale ressaltar que, além da caixa delimitadora, o algoritmo YOLO apresenta a probabilidade do objeto investigado está contido na referida caixa.

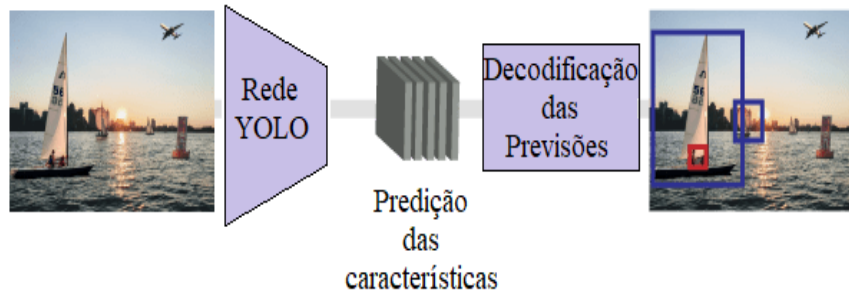
#### 2.4.3 Detecção de Objetos

O aprendizado profundo consiste em uma técnica de processamento de dados que tem sido objeto de estudos recentes. Essa técnica permite treinar detectores de objetos robustos, como a rede YOLO que, atualmente, está implementada em várias versões com aprimoramento principalmente no que tange às questões de velocidade.

A rede conhecida como YOLO faz uso de uma rede convolucional de aprendizado profundo para fazer extração de características das imagens de entrada. Em seguida, essas

características são decodificadas e geram caixas delimitadoras (Figura 12) (PLASTIRAS; KYRKOU; THEOCHARIDES, 2019; REDMON; FARHADI, 2017).

Figura 12: Detecção de objetos com YOLO

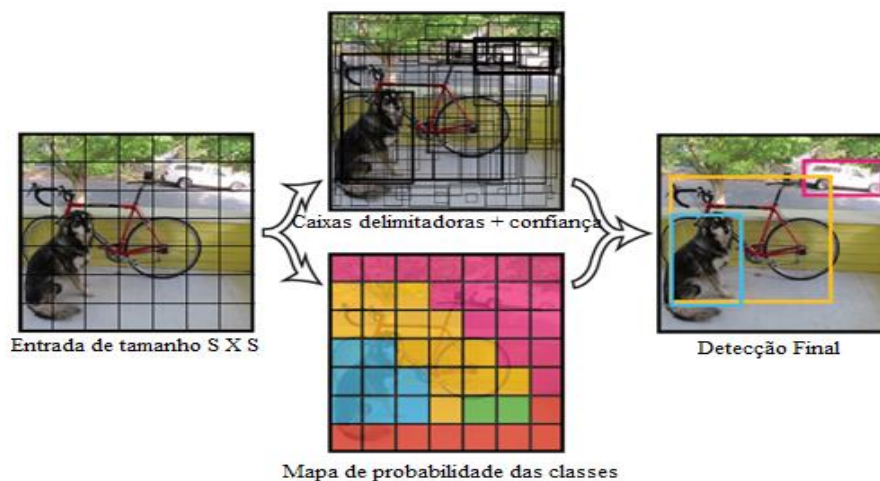


Fonte: Adaptado de Mathworks (2020b)

A rede convolucional YOLO consegue detectar objetos com desempenho superior aos métodos de detecção convencionais (BARREIROS *et al.*, 2021). O algoritmo YOLO divide a imagem em diversas grades que detectam um objeto dentro da grade e são denominadas de caixas âncoras.

Para cada caixa âncora, o YOLO prevê, dentre outras coisas, o rótulo da classe atribuído a cada caixa âncora e um índice de confiança, o qual é a probabilidade de o objeto cair na caixa delimitada. Em seguida, o YOLO tenta eliminar tanto quanto possível as caixas delimitadoras que não correspondem à classe do objeto (BARREIROS *et al.*, 2021; REDMON; FARHADI, 2017). Em resumo, as pontuações codificam a probabilidade de cada classe e quão bom a caixa prevista se encaixa no objeto (Figura 13).

Figura 13: Exemplo de diversas caixas delimitadoras



Fonte: Redmon; Farhadi (2017)

Observando a Figura 13, percebe-se que o algoritmo, antes da detecção final, impõe sobre o objeto diversas caixas delimitadoras. A escolha, porém, das melhores caixas utilizadas ao final do processo de detecção é realizada com a combinação de dois parâmetros. Esses parâmetros são o *Threshold* e o *Threshold Non-Maximum Suppression (Threshold – NMS)* (HOSANG, 2017).

De modo geral, pode-se dizer que o parâmetro *Threshold* determina o menor nível de confiança que uma caixa deve ter para ser considerada pelo algoritmo e o *Threshold – NMS* determina a menor interseção aceitável entre as caixas delimitadoras (HOSANG, 2017). Assim, a melhor combinação desses dois parâmetros para aplicação proposta nesse trabalho é também alvo de investigação.

A arquitetura da rede Yolo, no geral, é composta por um conjunto de camadas, em que cada uma realiza uma função específica. As camadas normalmente utilizadas são: entrada, Addition, Batch Normalization, Convolucionais; Max Pooling, ReLU, YOLO Transform e camada de saída (BARREIROS *et al.*, 2021). A camada de entrada corresponde à entrada da rede, as Addition adicionam as camadas subsequentes, e as convolucionais da YOLO diminuem a amostra por um fator de 32 (BARREIROS *et al.*, 2021).

A normalização em lote (Batch Normalization) regulariza um minilote de dados em todas as observações para cada canal de forma independente. Uma camada Max Pooling executa a redução da resolução, dividindo a entrada em regiões de agrupamento retangulares e calculando o máximo de cada região (REDMON; FARHADI, 2017).

Uma camada ReLU executa uma operação de limite para cada elemento da entrada, onde qualquer valor menor que zero é definido como zero. A camada YOLO Transform extrai ativações da última camada convolucional e transforma as previsões da caixa delimitadora para que caiam dentro dos limites da caixa verdadeira (REDMON; FARHADI, 2017).

A técnica de detecção de objetos será utilizada na etapa de identificação da manifestação patológica deslocamento do revestimento cerâmico. Após essa etapa, será realizado o processo de quantificação. Para realização da quantificação será aplicado um algoritmo de clusterização (*K-means*) descrito no subtópico seguinte.

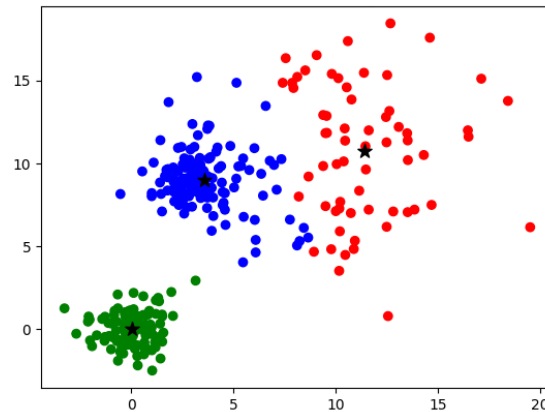
#### 2.4.4 O algoritmo de clusterização *k-means*

O algoritmo K-means (ou K-médias) é utilizado para realização de agrupamento de dados não hierárquicos por meio de uma técnica iterativa a fim de particionar um determinado conjunto de dados. Esse algoritmo objetiva a minimização das distância entre



os elementos do conjunto e os centros das partições de forma iterativa. Na Figura 14 é possível ilustrar o produto desse algoritmo (CORREIA, 2018).

Figura 14: Exemplo de Clustreização com k-means



Fonte: Correia (2018)

Segundo Correia (2018), a execução do algoritmo k-means é realizada obedecendo os seguintes passos:

**Passo 1:** definir o número  $k$  de grupos e iniciar os valores dos centroides. Esses valores podem ser escolhidos aleatoriamente;

**Passo 2:** dividir os clusters pela distância euclidiana entre os dados e os centros escolhidos;

**Passo 3:** escolher novos centros (distância média de todos os dados atrelados ao centroide);

**Passo 4:** se não atingiu o critério de parada, voltar ao passo 2. Caso contrário, finalize as operações.

Para fazer a segmentação de imagens com o k-means, ou seja, separar os pixels de  $k$  diferentes regiões de uma imagem, consideram-se todos os pixels como um conjunto de dados. Depois se aplica o algoritmo k-means para agrupar os pixels em  $k$  grupos de acordo com a distância euclidiana. Por fim, troca-se cada pixel da matriz (imagem) pelo representante do grupo ao qual ele pertence.

O objetivo do método de clusterização *k-means* no conjunto de etapas dessa pesquisa é contribuir com a etapa de quantificação e, assim, possibilitar que o planilhamento possa ser realizado de forma automática. O planilhamento proposto nesse trabalho visa à criação de um documento que possa ser utilizado em softwares que compõem a tecnologia BIM. No subtópico seguinte são abordados conceitos e a forma como a tecnologia BIM contribui com o processo de levantamento de quantitativos e orçamentação.

## 2.5 Modelagem da Informação da Construção — BIM

A Indústria 4.0 no contexto da construção civil pode ser definida como um movimento em direção a uma maior digitalização, na qual diversas tecnologias são utilizadas com a finalidade de auxiliar na compreensão do processo industrial quase em tempo real (MASKURIY *et al.*, 2019). Entre essas tecnologias, Maskuriy *et al.* (2019) destacam soluções em nuvem, pré-fabricação, automação, impressão 3D, realidade virtual, VANT's, sensores e BIM (*Building Information Modeling*).

A Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling — BIM*), segundo Ozturk (2020), consiste em utilizar um único banco de dados de informações totalmente integradas que possam ser utilizadas contínua e sequencialmente por todos os membros da equipe de projeto e construção com autorização de acesso.

Utilizando a tecnologia BIM, é possível criar informações sobre a construção de forma abrangente, confiável, de fácil acesso e facilmente substituíveis, permitindo assim que os membros da equipe do projeto saibam atuar com eficiência em diversas situações (DING *et al.*, 2020). Bontempo (2017) chama atenção para o conceito de interoperabilidade que a plataforma BIM oferece, ou seja, a modelagem da informação permite que sistemas possam trocar informações e disponibilizá-las para diferentes usuários.

Darko *et al.* (2020) definem BIM como, do ponto de vista do processo, uma tecnologia que tem início com a criação de um modelo 3D inteligente e passível de simulação, gerenciamento de documentos, coordenação, integração, comunicação e colaboração entre as partes interessadas.

A modelagem da informações da construção, ultimamente, transformou os projetos e a construção de edifícios, principalmente quando estes incluem a aplicação do BIM em todas as fases de operação e gerenciamento (WU; LEPECH, 2020)

Em uma revisão, considerando várias fontes de pesquisa, Succar (2021) identificou diversas aplicações da tecnologia BIM. Essas aplicações podem ser abordadas de maneiras diferentes, como a abordagem de como, quando e por quem elas são aplicadas, ou com base nos conteúdos de competência, ou ainda com base nas implicações legais da aplicação de utilização de tecnologia BIM (SUCCAR, 2021). No Quadro 2 é apresentado um resumo de algumas aplicações da tecnologia BIM.

Quadro 2: Principais usos da Tecnologia BIM

PROJETO	Visualização	Projeto com visualização 3D
		Controle de ciclos de revisão
		Documentação detalhada
		Representação realística
		Realidade virtual
	Análise	Verificação de requisitos de normas
		Levantamentos de quantitativos
		Estimativa de custos
		Simulações de fogo e fumaça
		Análise luminotécnica
		Análise energética
CONSTRUÇÃO	Execução	Coordenação espacial e análise de interferências
		Construtibilidade
		Especificações da construção
		Planejamento e controle da produção
	Pré-fabricação	Tecnologias móveis para uso no canteiro
	Estruturas metálicas	

Fonte: Succar (2021)

A utilização das tecnologias BIM vão além de aplicações nas fases de projetos e construção. Liu *et al.* (2021), por exemplo, propuseram uma combinação da tecnologia BIM com a utilização de VANT's para realização de inspeção predial. No que se refere à manutenção de edifícios, Motawa e Almarshad (2013) propuseram um sistema baseado na combinação de BIM e um sistemas de conhecimento *Case-Based Reasoning* (CBR), a fim de auxiliar as equipes de manutenção.

Aumentando o “leque” de aplicações da tecnologia BIM, pode-se citar ainda o trabalho de Sales e Ruschel (2014) que utilizou tal tecnologia para realização de Avaliação Pós-Ocupação (APO). Nesse trabalho, os autores indicaram como se deve introduzir as questões da APO em modelos de informação.

Além dos diferentes tipos de aplicações, as ferramentas BIM são providas também de um conjunto diversificado de capacidades, como por exemplo:

- a. **Interface do Usuário:** a complexidade é uma característica intrínseca das ferramentas BIM por elas possuem muito mais funcionalidades que as ferramentas CAD. Esse fato faz com que a interface da ferramenta seja um fator importante. Em alguns casos, a

interface do usuário é relativamente intuitiva e fácil de aprender (SACKS, 2021). Sacks (2021) destaca ainda que, apesar de questões relacionadas a interface parecerem, a princípio, não significativas, uma interface ruim resulta em longos períodos de aprendizado, mais erros e, com frequência, não se consegue aproveitar totalmente as funcionalidades disponíveis na ferramenta;

- b. **Geração de Desenhos:** o uso de BIM possibilita a criação de desenhos em duas e três dimensões, garantindo a manutenção dos mesmos ao longo de múltiplas atualizações e séries de versões com rápida visualização dos efeitos de mudanças nos desenhos. As ferramentas BIM garantem ainda que as mudanças no modelo se propaguem diretamente aos desenhos e vice-versa (COSTA; DE SOUSA e VASCONCELOS, 2021);
- c. **Escalabilidade:** essa capacidade consiste na habilidade das ferramentas BIM em lidar com combinações de projetos de grande escala e modelagem em alto nível de detalhes. Nesse caso, algumas ferramentas permanecem interativas e conseguem responder independentemente do número de objetos 3D paramétricos no projeto (SACKS, 2021);
- d. **Modelagem de Superfícies Curvas Complexas:** algumas ferramentas BIM possuem, em sua base própria, suporte para a criação e edição de modelos de superfícies complexas, como as baseadas em quádricas, splines e B-splines (SACKS, 2021);
- e. **Interoperabilidade:** essa capacidade permite que os dados do modelo sejam gerados e compartilhados com outras aplicações, permitindo a colaboração com engenheiros e outros colaboradores do empreendimento (COSTA, 2020);
- f. **Extensibilidade:** os softwares que compõem a tecnologia BIM, como o *Revit*, podem ser utilizados tanto para criação/edição quanto como uma plataforma de personalização e extensão, pois fornecem o suporte para *scripts* e para uma ampla e bem-documentada interface de programação de aplicações (*Application Programming Interface* — API). Essa capacidade é necessária quando uma empresa deseja personalizar determinada tarefa (AUTODESK, 2021).

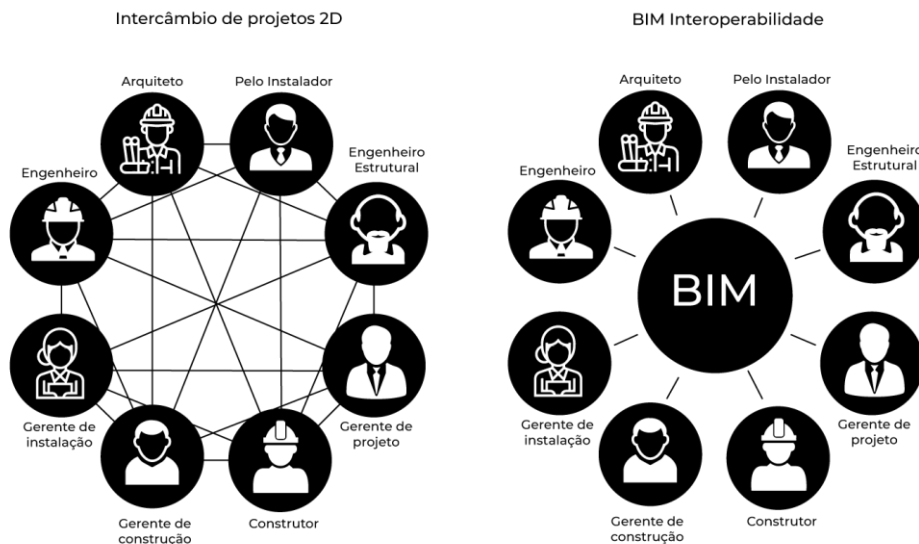
Tendo em vista a importância das capacidades “e” (interoperabilidade) para o escopo desse trabalho, uma abordagem mais detalhada sobre esse tema será realizada no subtópico a seguir.

### 2.5.1 Interoperabilidade

Pode-se compreender a interoperabilidade como sendo a capacidade que dois ou mais sistemas possuem de trocar informações e utilizá-las, ou seja, é a interação entre diferentes usuários, aplicações e sistemas operacionais, cuja finalidade é um produto resultante da comunicação entre os diversos meios e usuários (WU; LEPECH, 2020).

A interoperabilidade acontece quando um determinado software possui a capacidade de troca de informações com outro software, que, no caso da plataforma BIM, ocorre mediante o gerenciamento de diversos projetos complementares e interação de informações oriundas de *softwares* diferentes, porém utilizados no mesmo projeto (Figura 15) (COSTA, 2020).

Figura 15: Interoperabilidade



Fonte: adaptado de Bontempo (2017)

A organização de padrões e protocolos de implementação da interoperabilidade se dá, segundo a Colaboração e Integração BIM (2016), por meio da execução de diferentes métodos e protocolos de intercâmbio de informações entre softwares BIM. Esses métodos e protocolos podem ser divididos em três tipos ou grupos, a saber: formatos proprietários; públicos para segmentos específicos; e abertos e públicos.

Formatos (ou conexões) proprietários são definidos como sendo processos de intercâmbio de dados cuja função é viabilizar a comunicação entre dois diferentes softwares. Esses formatos servem apenas e unicamente ao propósito para os quais foram desenvolvidos, o que inviabiliza uma possível interação com outro sistema. O fato de ser criado com um fim específico faz com que os intercâmbios de informações realizados através de formatos

proprietários sejam de alta qualidade, não permitindo assim perdas de dados ou inconsistências (COLABORAÇÃO E INTEGRAÇÃO BIM, 2016).

Os formatos públicos para segmentos específicos são modelos e formatos eletrônicos de troca de dados para informações de projeto de aço estrutural, conhecido como CIS/2. O CIS/2 tem como objetivo criar um fluxo contínuo e integrado de informações entre todas as partes da cadeia de abastecimento de aço envolvidas na construção de estruturas de aço (LIPMAN, 2009).

No que tange ao formato aberto, a organização *BuildingSMART* desenvolveu um formato aberto a fim de representar e permutar a informação de edifícios o “*Industry Foundation Classes (IFC)*” (SILVEIRA, 2014). Essa ferramenta é um formato neutro de arquivo de dados com a finalidade de descrever, trocar e compartilhar informações oriundas da indústria da construção civil assim como do setor de gerenciamento de ativos (e de manutenção) (COLABORAÇÃO E INTEGRAÇÃO BIM, 2016).

Coelho (2020) destaca que, mesmo com o esforço de padronização para protocolar da interoperabilidade, muitos problemas ainda são verificados quando se faz uso da mesma, como por exemplo, questões relacionadas à falta de informações ou até mesmo à duplicação da criação de objetos.

Uma possível solução para os problemas oriundos da interoperabilidade é, segundo Coelho (2020), fazer uso das características de extensibilidade que, pode ser realizada através de conexões com *softwares* externos. No subtópico 2.4.2 (a seguir) são apresentadas as maneiras como essas conexões podem ser realizadas, principalmente no que diz respeito à quantificação.

### 2.5.2 Quantificação utilizando BIM

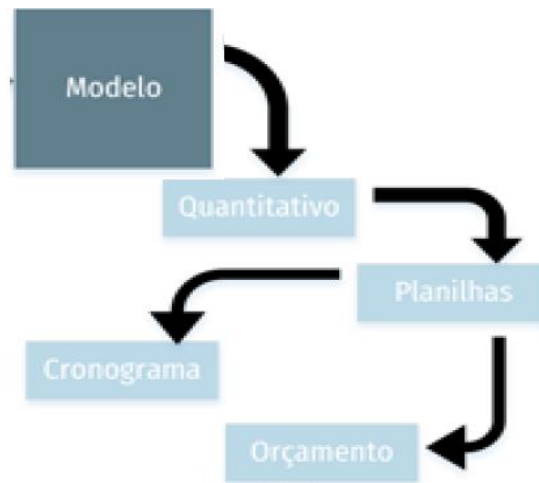
A quantificação ou o levantamento de quantitativo consiste em uma etapa de um processo estabelecido para determinação de cronograma e de orçamento. Essa etapa é o produto da utilização de um modelo cuja função atribuída é a de gerar listas de quantitativos com todos seus componentes classificados (COSTA; SERRA, 2014).

Nesse trabalho, por exemplo, o modelo proposto tem a finalidade fazer o levantamento de quantitativos de cerâmicas para recuperação de fachadas. Esse modelo é baseado em técnicas de aprendizado de máquinas aplicadas ao processamento digital de imagens.

Os quantitativos gerados pelo modelo são exportados para planilhas organizadas conforme as diretrizes do planejamento que são exportadas para aplicativos de cronograma

e ou de orçamento. Esse processo pode ser posteriormente integrado ao sistema de gerenciamento da empresa (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017). Na Figura 16, é apresentado um esquema que ilustra o processo que se inicia com um modelo e culmina na elaboração de cronograma e orçamento.

Figura 16: Esquema de intercâmbio de dados para integração entre modelo, cronograma e orçamento



Fonte: Adaptado da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2017)

Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2017), a conexão e integração com bases de dados externas é uma das principais características do processo de projeto BIM. No entanto, algumas limitações são frequentes, como:

- a. A existência de poucos sistemas que oferecem a capacidade de montarem ambiente comum de dados, com capacidade de ler os metadados em diversos aplicativos e formatos e ainda validar estes dados por meio de regras;
- b. Os poucos sistemas existentes possuem custo de aquisição e implementação elevados.

Por conta dos itens a e b é que, na prática, a centralização da informação se dá por meio de conexões entre diferentes aplicativos. Para realização dessas conexões existem cinco alternativas (BDI, 2017):

- a. Transferências via planilhas (Excel);
- b. Conexões com banco de dados via csv ou txt;
- c. Exportações de xml;
- d. Conexões via IFC;
- e. Acesso direto ao modelo via API (Application Program Interface) do aplicativo.

Nesse trabalho, inicialmente se pensou no desenvolvimento do acesso via API através de um *plugin* com o *Revit*, porém se optou por uma conexão de dados via txt, pois essa opção aumenta o “leque” de possibilidades de uso em diversos softwares que realizem levantamento de quantitativos.



### 3 FACHADAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO

Os sistemas de vedação vertical interno e externo consistem nas partes da edificação habitacional que limitam verticalmente a edificação e seus ambientes. Entre essas partes estão as fachadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Para Silva (2014), a envoltória vertical de proteção das edificações é constituída pelas fachadas e age como uma barreira para solicitações causadas por esforços externos e internos.

As fachadas exercem diversas funções, como estanqueidade à água, isolamento térmico e acústico, capacidade de fixação de peças suspensas, capacidade de suporte a esforços de uso, compartimentação em casos de incêndio, segurança, estabilidade e conforto dos usuários. Essas três últimas funções listadas são consideradas de extrema importância (HENRIQUE, 2010).

Na literatura clássica, Goldberg (1967) destaca que a principal função de uma vedação externa/fachada é separar o ambiente externo do ambiente interno, servindo como um filtro seletivo para controlar fatores, tais como pressão do vento, movimentação térmica e umidade, penetração de chuva, acústica e fogo. Além disso, Goldberg (1967) ressalta que as fachadas devem permitir iluminação natural para o ambiente interior e a circulação de ar entre o meio exterior e interior.

O sistema de vedação externa pode ser construído de diversas formas. Henrique (2010) adverte que, ao selecionar o sistema construtivo da envoltória, deve-se observar critérios como custo, valorização estética, durabilidade do sistema, segurança, custo de manutenção e tendências arquitetônicas regionais. Entre os sistemas de fachadas mais comuns, pode-se destacar as fachadas cortina, fachadas ventiladas, a duplas entre a pele e as fachadas com revestimento cerâmico. Sobressai-se na pesquisa o sistema caracterizado por revestimento cerâmico, pois esse tipo de envoltória faz parte do escopo deste trabalho.

#### 3.1 Revestimento Cerâmico em Fachadas

Dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres (ANFACER) apontam que, entre 2014 e 2019, o Brasil despontou como o terceiro maior produtor de revestimento cerâmico no mundo, ficando atrás apenas da China e da Índia. Em relação ao consumo, no mesmo período apenas a China utilizou mais revestimento cerâmico do que o Brasil que é o segundo país a utilizar mais revestimento cerâmico no mundo — uma média de 825 milhões de m<sup>2</sup> usados

(ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO, 2021).

Apesar do crescente uso de revestimentos cerâmicos pelo povo brasileiro tal uso concentra-se na aplicação em pisos, porém cerca de 38,36% do total utilizado, é aplicado em paredes, e destes, 11% são aproveitados em fachadas (percentual médio do período 2014-2020) (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO, 2021).

A utilização de revestimento cerâmico em fachadas teoricamente satisfaz dois importantes requisitos: isolamento térmico satisfatório e estanqueidade. Esse fato revela a importância desse tipo de sistema em regiões com umidade do ar elevada, altas temperaturas durante o dia e alto índice pluviométrico (SANTOS NETTO, 2016).

Cypriano *et al.* (2018) destacam que a utilização de placas cerâmicas possui vantagens em comparação com outros sistemas de revestimento, como facilidade de manutenção, durabilidade, impermeabilidade e facilidade de limpeza. Para Bastião (2019), o revestimento cerâmico em fachadas, além de contribuir para eficiência energética, conforto térmico e durabilidade, ainda desempenha um papel fundamental no que diz respeito aos valores estético, cultural e social que proporciona.

No que tange às questões funcionais, os revestimentos cerâmicos se apresentam em quatro classes: a primeira classe é composta por revestimentos cuja função é garantir a estanqueidade; a segunda classe — revestimentos de impermeabilização — contribui significativamente para a impermeabilização, porém não garante a estanqueidade; a terceira classe — os revestimentos de isolamento térmico — tem como função principal o isolamento térmico e contribuem também para a estanqueidade à água; e, por fim, a quarta classe de revestimentos é os de acabamento ou decorativos e tem uma contribuição pouco significativa para a estanqueidade, tendo como função principal o acabamento da parede (GALETTO; ANDRELLO, 2013).

Além dos pontos positivos associados ao uso de revestimento cerâmico, é possível também observar problemas que normalmente ocorrem devido ao envelhecimento de um edifício, como a perda de adesão das placas cerâmicas (CYPRIANO *et al.*, 2018). É nesse contexto de fatores positivos e negativos que é apresentado, no subtópico seguinte, um arcabolo teórico sobre o uso de revestimento cerâmico em fachadas.

### 3.1.1 Características dos Revestimentos Cerâmicos

O processo produtivo das placas cerâmicas utilizadas em revestimento é bastante diversificado, o que implica a existência de uma variedade de revestimentos cerâmicos que, por sua vez, são classificados conforme suas características físicas e químicas. Silva *et al.* (2015) destacam as seguintes características dos revestimentos cerâmicos: absorção de água, resistência a abrasão superficial, aderência, resistência ao ataque químico e resistência a manchas.

Além das características listadas por Silva *et al.* (2015), os revestimentos cerâmicos também possuem resistência à ruptura, resistência mecânica ao impacto e à compressão, dilatação térmica e expansão por umidade e gretamento (PEZZATO, 2010). A seguir é apresentada uma descrição das principais características dos revestimentos cerâmicos:

- a. Absorção de água: segundo Cabral (2009), a forma mais usual de se classificar os revestimentos cerâmicos é quanto à absorção de água por haver influência direta sobre outras propriedades do produto, como a resistência mecânica. A resistência mecânica e a absorção de água se relacionam de maneira inversamente proporcional, ou seja, quanto menor a absorção de água maior a resistência mecânica (MENDES *et al.*, 2018).
- b. Resistência à abrasão superficial: essa característica está relacionada ao desgaste superficial do material e pode ser classificada como abrasão superficial para produtos esmaltados e em abrasão profunda para produtos não esmaltados (SILVA *et al.*, 2015);
- c. Aderência: é um fenômeno decorrente do efeito de ancoragem mecânica da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou nas reentrâncias e saliências do substrato (MIBIELLI, 1994);
- d. Resistência ao ataque químico: a resistência ao ataque químico dos revestimentos cerâmicos ocorre quando está submetido a alguns produtos domésticos ou até mesmo a ácidos fortes, concentrados e quentes (SILVA *et al.*, 2015);
- e. Resistência a manchas: a característica de resistência ao manchamento dos revestimentos cerâmicos depende dos seguintes fatores: tipo de substância manchante; aparência da superfície do revestimento; tratamento da superfície e microestrutura superficial. Esses fatores afetam a susceptibilidade ao manchamento ou a facilidade de limpeza (DONDI; RAIMONDO; ZANELLI, 2008);

- f. Resistência à ruptura: duas medidas caracterizam a resistência a ruptura, são elas: carga de ruptura, que se origina do próprio material, e o módulo de resistência à compressão, que é a medida de resistência do material (PEZZATO, 2010);
- g. Gretamento: são fissuras na superfície da peça cerâmica que podem mostrar-se de diferentes formas. Uma das manifestações do gretamento é em forma de pequenas fissuras visíveis na superfície da placa. Uma outra maneira de manifestação é que as fissuras permanecem ocultas dentro da interface suporte-esmalte sem chegar à superfície (MENEZES *et al.*, 2006).

Observa-se a partir da descrição das características listadas de “a” a “g” que os revestimentos cerâmicos têm propriedades que podem implicar tanto no prolongamento da vida útil do material e do sistema que o compõe quanto em possíveis manifestações patológicas.

### 3.1.2 Composição do Sistema de Revestimento Cerâmico em Fachadas

A compreensão sobre o funcionamento do sistema de revestimento cerâmico em fachadas perpassa primeiramente pelo conhecimento de como é executado o processo de aplicação das cerâmica, pois, a depender de qual técnica é utilizada na aplicação da placa cerâmica, classifica-se o revestimento em aderido ou não aderido (MOREIRA; MARCONDES, 2016). Os revestimentos não aderidos precisam ser fixados por dispositivos especiais, como parafusos, e normalmente possuem camadas anteriores com a função de isolamento térmico, acústico e de impermeabilização, já os revestimentos aderidos, por definição, estão inteiramente presos por argamassa colante ao substrato (MOREIRA; MARCONDES, 2016).

Diversas camadas compõem o sistema de revestimento cerâmico, são elas: alvenaria, reboco/emboço, camada de fixação (argamassa colante) e camada de acabamento (placas cerâmicas e rejuntamento) (PEZZATO, 2010). Na Figura 17, pode-se observar a disposição dessas camadas.

Figura 17: Revestimento Cerâmico: 1) Alvenaria, 2) Emboço/Reboco, 3) Argamassa colante, 4) Cerâmica e 5) Argamassa de rejunte



Fonte: Adaptado de Quartzolit (2021)

Silva, Bauer e Castro (2014) ressaltam que a principal função das camadas que compõem o revestimento externo de fachadas é proteger a edificação e ainda melhorar o acabamento estético. As definições e características de cada componente do conjunto que constitui um sistema de revestimento cerâmico são apresentadas nos itens a seguir:

- a. Alvenaria: segundo Pezzato (2010), a alvenaria é a base do sistema de revestimentos cerâmicos. Essa “camada” é formada pela estrutura de vedação construída de blocos cerâmicos, de concreto, de concreto celular ou ainda de blocos sílico-calcários;
- b. Emboço: essa camada possui espessura de até 3cm e tem como objetivo cobrir e regularizar a superfície, permitindo assim a inserção da camada de revestimento cerâmico, ou outro procedimento ou tratamento decorativo (CARVALHO *et al.*, 2010);
- c. Argamassa colante: o uso de argamassa colante consiste em um método para assentamento de ladrilhos aderentes. Nesse procedimento, a fixação é feita por colagem, provocando a adesão entre o suporte e o ladrilho cerâmico. A espessura da camada de aplicação da argamassa varia entre 5 e 20 mm. No caso de ambientes externos, deve-se incorporar um aditivo hidrófobo, a fim de aumentar a sua resistência à penetração de água da chuva (LOPES, 2010);
- d. Cerâmica: uma placa cerâmica consiste em uma composição de argila e outras matérias-primas inorgânicas. As matérias-primas utilizadas na produção desse elemento construtivo são extraídas da natureza e passam por um tratamento físico para eliminação de impurezas indesejáveis (PEZZATO, 2010). O glossário de revestimento cerâmico define cerâmica como sendo um material composto de argila e outras matérias-primas inorgânicas e utilizado para revestir pisos e paredes (ALVES *et al.*, 2011);

- e. Rejunte: segundo ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 14992 (2003), rejunte consiste em uma mistura industrializada de cimento Portland e outros componentes homogêneos e uniformes. Essa mistura é aplicada nas juntas de assentamento de placas cerâmicas. A classificação do tipo de rejunte depende do ambiente de aplicação e dos requisitos mínimos e são definidos em dois tipos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Cada camada do sistema de revestimento cerâmico possui uma função e uma composição diferente. Antunes (2010) apresenta de forma didática a relação de cada camada com sua composição e função (Quadro 3).

Quadro 3: Elementos de fachada com revestimento cerâmico, composição e principais funções

Elemento de Fachada	Composição	Função
Base ou substrato	Constituído por superfície plana de parede. Podem ser concreto armado ou alvenaria de blocos cerâmicos, de blocos de concreto, blocos de concreto celular ou blocos sílico-calcários.	Depende de sua função na estrutura, vedação ou estrutural. É a camada responsável por receber o revestimento de argamassa.
Chapisco	Argamassa de cimento, areia e água.	Uniformizar a superfície da base quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento.
Emboço	Mistura homogênea de agregado(s) miúdos(s), aglomerante(s) inorgânicos e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.	Cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, corrigindo defeitos e irregularidades da mesma, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco, ou de revestimento decorativo, ou que se constitua no acabamento.
Reboco	Mistura homogênea de agregado(s) miúdos(s), aglomerante(s) inorgânicos e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.	Cobrir o emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou se constitua no acabamento.
Argamassa colante	Mistura constituída de aglomerantes hidráulicos, agregados minerais e aditivo(s).	Confere aderência às placas cerâmicas junto à camada que lhe serve de base.
Acabamento decorativo	Tinta ou placa cerâmica e argamassa de rejunte à base de cimento, areia e/ou outros	Contribui para a definição estética do edifício e confere propriedades para a fachada como resistência à

	agregados finos, inertes não reativos, com adição de um ou mais aditivos químicos.	penetração de água, isolamento, limpabilidade, etc.
Argamassa de rejunte	Pode ser argamassa, nata de cimento, resina epóxi ou qualquer outro especificado para o devido fim.	Composto destinado a preencher as juntas de assentamento de placas cerâmicas.

Fonte: Antunes (2010)

A importância de se conhecer as camadas que compõem o sistema de revestimento cerâmico perpassa principalmente pela possibilidade de amenização das possíveis manifestações patológicas típicas desse tipo de sistema construtivo. De acordo com Santos Netto (2016), falhas em uma ou mais camadas podem culminar em patologias ou redução do desempenho. No próximo tópico desse trabalho, serão abordadas as principais manifestações patológicas que acometem os sistemas de revestimentos cerâmicos externos e suas relações com as camadas aqui definidas.

### 3.2 Manifestações Patológicas em Revestimento Cerâmico de Fachadas

Considerando a questão etmológica do termo patologia, sabe-se que essa expressão tem origem grega e reflete na união dos termos como “doença” e “estudo”, que originalmente se relacionava a questões medicinais (SOCIEDADE BRASILEIRA DE PATOLOGIA, 2021). Apesar de inicialmente a palavra patologia estar relacionada a questões medicinais, esse termo também é bastante empregado na construção civil e é entendido como o estudo das anomalias das construções, dos elementos ou dos seus materiais (SANTOS NETTO, 2016).

Enquanto o termo patologia está relacionado ao estudo de anomalias, a expressão “manifestação patológica” consiste na forma apropriada para expressar a resultante de um mecanismo de degradação. Em resumo, a patologia é uma ciência composta por um conjunto de teorias que visam explicar o mecanismo e a causa da ocorrência de determinada manifestação patológica (SILVA, 2011).

Os materiais, quando expostos a determinadas ações físicas, químicas e biológicas, tendem a sofrer algum tipo de manifestação patológica (TORMEN *et al*, 2016). Segundo Tormen *et al* (2016), essas manifestações evidenciam alterações indevidas por conta dos processos de deterioração ou envelhecimento dos materiais.

No que diz respeito às manifestações patológicas nos sistemas de revestimento cerâmico de fachadas Bauer, Castro e Silva (2015) afirmam que normalmente se observam nesse tipo de sistema manifestações patológicas que podem ser oriundas do fato do mesmo

ser composto por camadas com materiais cujas propriedades são bastante diferenciadas, o que, segundo os autores, provocam elevadas deformações e movimentações diferenciais e consequentemente surgem as patologias.

As manifestações patológicas têm como origem diversos fatores (ou causas) dentre os quais Antunes (2010) destaca: as causas associadas aos materiais, as associadas à dosagem ou traço, problemas na especificação; as causas decorrentes do processo executivo, as associadas à ação de fatores externos; e as causas vinculadas ao comportamento em uso.

Como o sistema de revestimento cerâmico é constituído por várias camadas e possíveis falhas nas mesmas podem ocasionar patologias, então as manifestações patológicas comuns ao sistema de revestimento cerâmico também são diversificadas (GALETTO; ANDRELLO, 2013). Entre as principais manifestações patológicas podem ser citadas: trincas, fissuras, falhas nas juntas e na argamassa, anomalias estéticas, gretamento, descolamento e deslocamento, sendo que esta última faz parte do objeto de estudo desse trabalho e, por conta disso, uma abordagem teórica mais aprofundada sobre a mesma é apresentada no subtópico a seguir (GALETTO; ANDRELLO, 2013).

### 3.2.1 Descolamento e Desplacamento do Revestimento Cerâmico

Entende-se por descolamento de placa cerâmica como perda de aderência entre os componentes cerâmicos com a camada de fixação ou na interface desta com o substrato, e as principais causas desse tipo de manifestação patológica nos sistemas de revestimento de fachadas são: a deformação ocorrida nas bases em decorrência das variações térmicas; a falta de juntas de controle; argamassas inadequadas; e falhas no assentamento e/ou rejunte (LUZ, 2004).

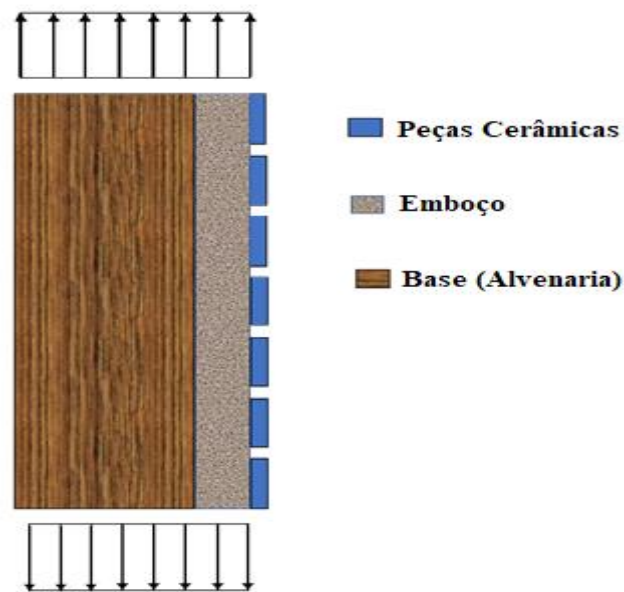
A falta de aderência entre os componentes do sistema de revestimento cerâmico acontece quando as tensões ultrapassam a capacidade de aderência das ligações (SANTOS NETTO, 2016). Para Barros *et al.* (2020), o descolamento cerâmico ocorre quando há a falha na junção entre placas cerâmica e argamassa de assentamento ou argamassa de assentamento com o substrato. Os autores destacam que esse tipo de manifestação patológica pode ocorrer em porções do revestimento, pontuais ou generalizados.

A mudança de temperatura e a retração da camada regularizadora são dois fenômenos que causam tensão no sistema de revestimento cerâmico e consequentemente podem levar ao descolamento das placas (ANTUNES, 2010). A seguir consta uma descrição de como esses dois fenômenos estão relacionados à manifestação patológica conhecida como descolamento cerâmico.



- a. Efeito da temperatura: o descolamento cerâmico oriundo do efeito da temperatura ocorre em decorrência das fases de resfriamento e aquecimento, pois na fase de aquecimento ocorre uma dilatação do revestimento e da base, e, como os materiais possuem coeficiente de dilatação térmica diferentes, surge então um afastamento entre as placas e conseqüentemente tensões de cisalhamento entre a base das peças e a argamassa colante (Figura 18). Sendo assim, caso a resistência de aderência for inferior ao cisalhamento atuante, as placas da base se soltarão da camada regularizadora (ANTUNES, 2010).

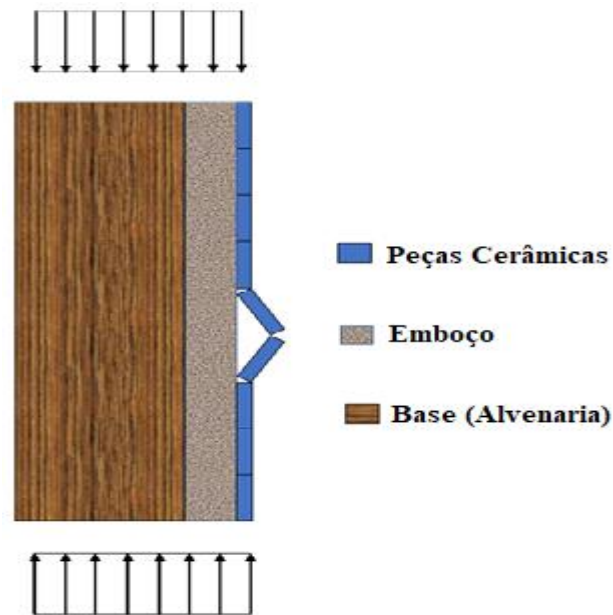
Figura 18: Dilatação do revestimento e da base



Fonte: Adaptado de Antunes (2010)

Já na fase de resfriamento, a base sofre o encurtamento, ocorrendo então perda de resistência de aderência, fazendo com que o encurtamento implique na compressão do plano de revestimento, e essa compressão elimine os espaços entre as placas, e conseqüentemente ocorra o descolamento das mesmas (ANTUNES, 2010). A Figura 19 ilustra esse processo.

Figura 19: Compressão do Plano de Revestimento



Fonte: Adaptado de Antunes (2010)

- b. Retração da camada regularizadora é outro fator que pode causar tensão de compressão no sistema de revestimento cerâmico, fazendo com que as peças cerâmicas se aproximem umas das outras, causando a flambagem das mesmas (ANTUNES, 2010).

Quando as placas cerâmicas caem isoladamente ou juntamente com a argamassa de assentamento ou até mesmo com o emboço, ocorre então o que, por definição, é conhecido como deslocamento cerâmico (SANTOS NETTO, 2016). Tendo em vista a definição de deslocamento cerâmico, percebe-se que o deslocamento pode apresentar-se como consequência do descolamento. A Figura 20 ilustra esse tipo de manifestação patológica.

Figura 20: Exemplo de deslocamento cerâmico



Fonte: autora (2022)

O deslocamento cerâmico, de acordo Pacheco e Vieira (2017), pode ocorrer por diversas causas, como:

- a. retração da base;
- b. expansão das peças cerâmicas;
- c. preparação incorreta do substrato;
- d. material de fixação impróprio ou erro de execução durante o assentamento.

Vale ressaltar ainda que, além do prejuízo estético e de cumprimento dos requisitos por parte do sistema de revestimento, o deslocamento cerâmico, durante seu aparecimento, representa uma ameaça à segurança dos indivíduos que transitam próximo às fachadas onde o processo de descolamento está ocorrendo (LUZ, 2004). Desse modo, faz-se necessária a realização de inspeções periódicas. Os principais conceitos e métodos de inspeção são abordados no subtópico seguinte (subtópico 3.3).

### 3.3 Inspeção de Fachadas com Revestimento Cerâmico

A definição de inspeção pode ser entendida como sendo um exame minucioso, uma vistoria ou uma observação detalhada de algo, e quanto a inspeção de edifícios, como uma atividade cujo objetivo é determinar o estado de conservação da edificação ou das suas partes constituintes (DIAS, 2015). A norma brasileira sobre o processo de manutenção de edificações ressalta que as inspeções devem ser realizadas por meio de modelos elaborados e ordenados de forma a facilitar os registros e sua recuperação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012). Esses modelos devem considerar um roteiro de inspeção, as formas de manifestações patológicas e as solicitações e reclamações dos usuários ou proprietários.

#### 3.3.1 Inspeção de Fachadas: Tempo e Segurança

Os processo de inspeção, tanto tradicional quanto auxiliados por VANTs, apresentam vantagens e desvantagens. Nesse tópico, uma comparação dos métodos em questão será realizada considerando tempo e a segurança.

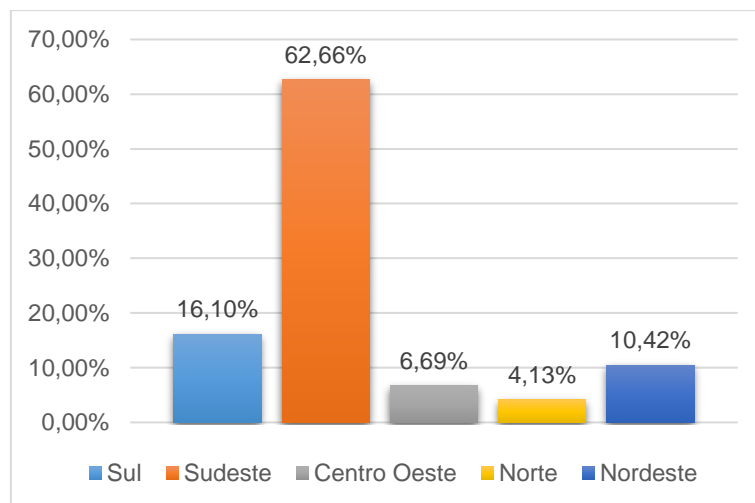
Tomando como exemplo o trabalho de Slosaski (2021), o processo de inspeção por VANT reduz o tempo de trabalho do engenheiro em torno de 56,3 % a 70,8%. Reduzindo o tempo de trabalho do engenheiro, pode-se inferir que o custo da atividade total também é reduzido.

Mesmo reduzindo consideravelmente o tempo de trabalho exigido pelo engenheiro no processo de inspeção auxiliado por VANT, percebe-se que esse tempo ainda é

demasiadamente longo, chegando a 14 horas trabalhadas (SLOSASKI, 2021). Nesse sentido, colaborar de maneira eficaz para redução dessa jornada de trabalho é, sobretudo, contribuir para uma redução ainda maior dos custos do processo de inspeção. É nessa perspectiva que a proposta desse trabalho se apresenta.

A análise do critério de segurança, nesse texto, é feita a partir da análise teórica de dados sobre a quantidade de acidentes de trabalho em altura. Ao analisar a quantidade de acidentes de trabalho em altura percebe-se uma “liderança” de registros da região Sudeste que se mostra como responsável por 62,66% dos casos registrados (120.524 casos) no período compreendido entre 2012 e 2017 (OBSERVATÓRIO DIGITAL DE SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO, 2018). Na Figura 21, há uma comparação entre os percentuais de acidentes de trabalho em altura nas 5 regiões brasileiras.

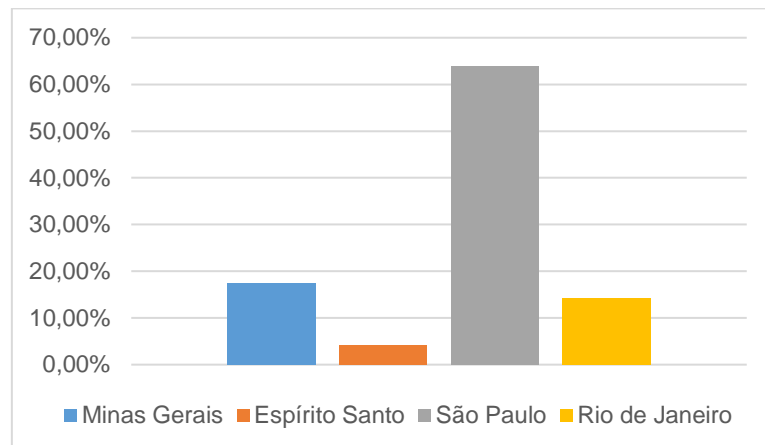
Figura 21: Acidentes de trabalho em altura entre 2012 e 2017 por região



Fonte: Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho (2018)

A fim de observar os dados de maneira mais extratificada, é apresentada na Figura 22 uma comparação do percentual de acidentes entre os estados da região com maior quantidade de acidentes de trabalho em altura entre 2012 e 2017, ou seja a região Sudeste.

Figura 22: Acidentes de trabalho em altura entre 2012 e 2017 no Sudeste



Fonte: Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho (2018)

Quando estratificado os dados apresentados na Figura 21 e observada apenas a região com maior contribuição, percebe-se uma prevalência do estado de São Paulo, que aparecesse com mais de 60% dos acidentes de trabalho em altura da região Sudeste (77.098 casos registrados). Entre as atividades que podem ser realizadas em altura está a inspeção de fachadas. No entanto, essa atividade, como será visto no subtópico a seguir, pode ser executada com o auxílio de VANT.

### 3.3.2 Inspeção com VANT

A fim de contribuir com o aprimoramento do processo de inspeção de fachadas com revestimento cerâmico, Silvestre e De Brito (2011) propuseram um método de identificação das anomalias em revestimentos cerâmicos aplicados às fachadas de edifícios. O procedimento apresentado pelos autores é baseada na realização de inspeções padronizadas. Esse método foi testado em 85 sistemas de revestimentos cerâmicos em fachadas e uma análise quantitativa dos tipos de manifestações patológicas foi realizada.

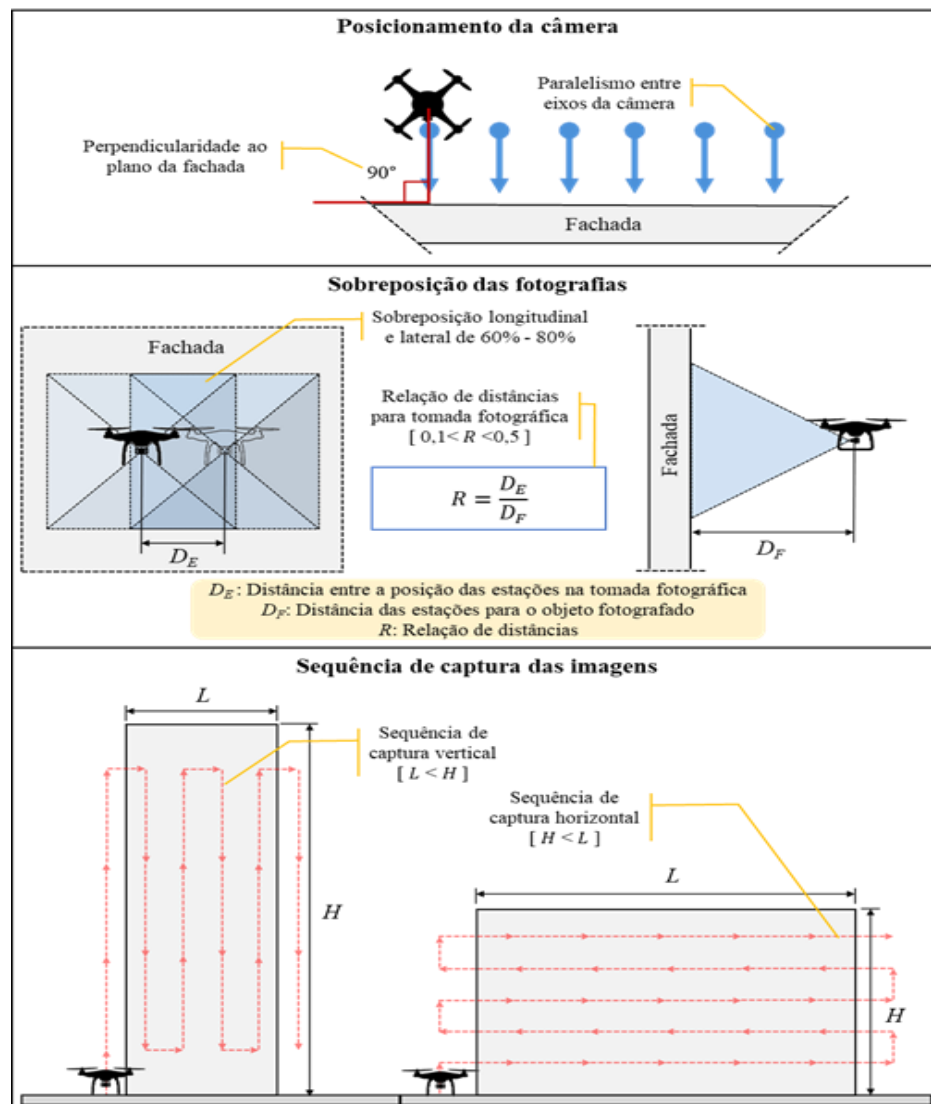
Com o objetivo de facilitar a avaliação de degradação de fachadas, em especial as com pinturas, Pires, De Brito e Amaro (2015) sistematizaram os métodos de inspeção, diagnóstico e reabilitação. Essa sistematização foi realizada por meio da compilação e estruturação dos dados contidos em regulamentos e em publicações científicas.

Além de técnicas baseadas em inspeção visual ou compilação de dados como nos casos Silvestre e De Brito (2011) e Pires, de Brito e Amaro (2015), a identificação de manifestações patológicas em fachadas utilizando processamento de imagem tem ganhado espaço. As metodologias que utilizam processamento digital de imagens e VANT além de

eficazes têm-se mostrado seguras e com ótima relação custo-benefício (BALLESTEROS; LORDSLEEM JUNIOR, 2021; RUIZ *et al.*, 2021).

A inspeção de fachadas com o auxílio de VANT necessita de protocolo bem-definido com informações e procedimentos claros. Ruiz *et al.* (2021) propuseram um protocolo de inspeção com VANT que considera principalmente variáveis como áreas de sobreposição entre as fotografias de aproximadamente nos sentidos longitudinal e lateral das faixas de voo, a distância da estação para a fachada e a distância entre as estações na tomada fotográfica tanto no sentido vertical quanto no sentido horizontal. A Figura 23 apresenta um resumo ilustrativo do protocolo de captura de imagens no processo de inspeção proposto por Ruiz *et al.* (2021).

Figura 23: Protocolo de captura de Imagens de fachadas utilizando VANT



Fonte: Ruiz *et al.* (2021).

Percebe-se, analisando a Figura 23, que o protocolo de captura de imagens está bem-definido e que “cobre” toda a área relativa à fachada do edifício. Além disso, informações importantes para o processamento de imagens, como o percentual de sobreposição e a distância entre o VANT e a fachada, são disponibilizadas quando utilizado esse protocolo.

Os conceitos relacionados aos revestimentos cerâmicos em fachadas, em especial no que tange a composição, patologias e inspeção, visam contribuir teoricamente para o desenvolvimento desse trabalho, pois, como já mencionado anteriormente, pretende-se nesta pesquisa propor um método baseado nos pilares da Indústria 4.0 que seja capaz de identificar e mensurar o deslocamento de revestimento cerâmico em fachadas.

Ao examinar os conceitos apresentados por meio dos trabalhos citados, percebe-se que o sistema de revestimento cerâmico possui importância tanto em termos de segurança quanto estéticos e que o processo construtivo desse tipo de sistema requer uma elaboração cuidadosa para se evitar e ou atrasar o surgimento de manifestações patológicas.

No que diz respeito aos processos de inspeção de fachadas, a abordagem apresentada no texto evidencia que são diversos os mecanismos atualmente utilizados, inclusive alguns conceitos da Indústria 4.0 já figuram, mesmo que timidamente, nos métodos de inspeção, como o uso de VANTs para realização de inspeções.

### 3.4 Custo de Inspeção de Fachadas

De maneira ampla, custo é definido como o sacrifício de um recurso para atingir determinado objetivo e geralmente é medido a partir de métricas financeiras a serem pagas para se adquirir recursos, que podem ser produtos ou serviços (KERN, 2005). O termo custo também pode ser definido como sendo ativos monetários (ou equivalentes), sacrificados para produtos e serviços de que se espera um benefício atual ou futuro (SANTOS, 2018).

Na indústria da construção civil, por exemplo, define-se custo total de uma obra como o valor correspondente à soma de todos os gastos necessários para sua execução (GONZÁLEZ, 2008). Além disso, os custos na construção civil podem ser classificados em custos diretos ou indiretos (DIAS, 2004).

Os custos diretos são aqueles diretamente envolvidos na produção da obra, como os insumos constituídos por materiais, a mão de obra, os equipamentos auxiliares e a infraestrutura de apoio. Os custos indiretos são aqueles representados por itens que não são facilmente mensuráveis nas unidades de medição dos serviços, veículos de passeio e de carga de apoio, contas (energia, água, correio, telefone e etc) das concessionárias (DIAS, 2004). A determinação dos custos diretos ou indiretos pode ser uma tarefa complexa (SILVA 2018).

A inspeção de fachadas é um exemplo de complexidade na determinação de custos na construção civil, pois os inspetores, baseados na experiência e após uma avaliação preliminar da condição de uma edificação, tendem a avaliar o custo de uma inspeção caso a caso (SILVA, 2018).

Apesar das especificidades de cada caso de inspeção, Miraldes (2020) defende que a composição de custos de inspeção de fachadas deve englobar o aluguel, a montagem, a desmontagem dos andaimes e os serviços dos profissionais especializados. As Tabelas 2 e 3 apresentam um exemplo de composição de custos para inspeção da fachada de um edifício (estudo de caso). A fim de demonstrar a economia alcançada com a utilização de VANT no processo de inspeção, Miraldes (2020) também realizou o levantamento de custos, caso essa tecnologia fosse utilizada na inspeção da fachada do edifício objeto do estudo de caso, e os resultados estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Composição de custos de inspeção com VANT

<b>Unitário</b>	<b>Ud</b>	<b>Descrição</b>	<b>Rend.</b>	<b>Preço</b>	<b>Importância</b>
				<b>Unitário</b>	
	h	Aluguel de VANT de baixa complexidade por hora de trabalho.			294,00
	h	Tratamento dos dados e elaboração de um relatório sobre as patologias da construção por um técnico especializado, com um nível de especificação exaustivo.	8,00	50,24	401,92
<b>Total</b>					<b>605,92</b>

Fonte: Miraldes (2020)

Em contraponto ao apresentado na Tabela 2, Miraldes (2020) apresentou a composição de custos para realização de inspeção realizada de forma tradicional. Os valores dessa inspeção estão apresentados na Tabela 3.



Tabela 3: Composição de custo de inspeção tradicional

<b>Unit</b>	<b>Ud</b>	<b>Descrição</b>	<b>Rend.</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Importância</b>
	Ud	Aluguel, durante 4 dias úteis, de andaime tubular normalizado, até 51m de altura máxima de trabalho, composto por plataformas de trabalho de 60 cm de largura, colocadas a cada 2 m de altura, escada interior com alçapão, guarda-corpos traseiro com duas barras e rodapé, e guarda-corpos frontal com uma barra para a inspeção das fachadas de pilares	4.424,70	0,09	381,84
	Ud	Repercussão, por m <sup>2</sup> , de montagem de andaime tubular normalizado, tipo multidirecional e guarda-corpos frontal com uma barra para a execução de fachada incluindo rede flexível, tipo mosquitoeiro monofilamento, polietileno 100%.	730,296	6,30	4.660,86
	Ud	Repercussão, por m <sup>2</sup> , de desmontagem de andaime tubular normalizado, tipo multidirecional e guarda-corpos traseiro com duas barras e rodapé, e guarda-corpos frontal com uma barra para a execução de fachada incluindo rede flexível, tipo mosquitoeiro monofilamento, polietileno 100%.	730,29	4,11	3.001,52
	h	Tratamento dos dados e elaboração de um relatório sobre as patologias da construção por um técnico especializado, com um nível de especificação exaustivo.	6,00	50,24	301,44
				<b>Total</b>	<b>8.345,66</b>

Fonte: Miraldes (2020)

Comparando as Tabelas 2 e 3 com as composições de custo apresentadas, apesar dos valores serem defasados, pois são referentes a 2020, percebe-se que o uso VANT possibilita uma redução de valor do custo total da inspeção da fachada utilizada como estudo de caso.

Verifica-se ainda que o custo da realização de inspeção com VANT foi cerca de 13 vezes inferior quando comparado com a utilização de andaimes para a inspeção visual. Esta diferença deve-se principalmente ao fato de a inspeção visual através da utilização de andaimes ser mais complexa quando comparada com a utilização de VANT's.

É importante ressaltar que, se o tratamento dos dados (nesse caso específico) tivesse sido realizado de forma automática, o custo da inspeção com o VANT cairia para R\$ 294,00, ou seja, 28 vezes menor, o que ratifica a importância econômica da automação do tratamento dos dados.

Como já mencionado anteriormente, o custo de uma inspeção deve ser avaliada caso a caso. Por esse motivo, é apresentado a seguir outro exemplo no qual Oliveira *et al.* (2020) realizaram um levantamento com 3 empresas (Detecta Engenharia, Terka Engenharia, Hangar Engenharia) sobre inspeção tradicional e utilizando VANT. Os resultados estão apresentados de forma resumida na Tabela 4.

Tabela 4: Comparação entre vistoria com VANT e com alpinista

Item	Detecta Eng.		Terka Eng.	Hangar Eng.
	VANT	Alpinismo	VANT	Alpinismo
Quantidade de Pessoas	1	1 a 3	1	3
Tempo médio para realizar inspeção	3 horas	8 horas	3 horas	3 dias
Custo médio para realizar inspeção	x	3x	R\$ 8.000,00	Sem informação

Fonte: Oliveira *et al.* (2020)

Os dados apresentados na Tabela 4 apontam que, em relação ao custo apontado pela empresa Detecta Engenharia, a utilização de VANT resulta em um valor 3 vezes menor do que a de alpinista. No entanto, nesse caso específico não é possível inferir sobre qual redução seria obtida caso se automatizasse o processo de tratamento dos dados.

Interessado em analisar apenas o custo de inspeção por VANT, Tondelo e Barth (2018) realizaram um levantamento de preço em quatro (A, B, C e D) empresas sobre o custo de filmagem e do laudo técnico. Os valores obtidos pelos autores estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5: Custos com serviços de filmagem e laudo pericial de patologias

<b>Empresa</b>	<b>Área técnica</b>	<b>Cidade</b>	<b>Serviço</b>	<b>Custo (8h)</b>
A	Engenharia	Curitiba/PR	Filmagem	R\$ 1.500,00
			Filmagem e laudo técnico	R\$ 5.000,00
B	Filmagem com VANT	Blumenau/SC	Filmagem	R\$ 1.000,00
C	Filmagem com VANT	São Paulo/SP	Filmagem	R\$ 4.100,00
			Filmagem e laudo técnico	R\$ 6.200,00
D	Filmagem com VANT	Joinville/SC	Filmagem	R\$ 1.500,00

Fonte: Tondelo e Barth (2018)

Observa-se na Tabela 5 que três das quatro empresas orçaram valores entre R\$ 1.000,00 e R\$ 1.500,00 para realização da filmagem com VANT, enquanto uma das empresas apresentou um valor bem acima das demais. No entanto, o que chama atenção na tabela em questão são os valores apresentados pelas empresas A e C para elaboração do laudo técnico, pois são bastante consideráveis, o que corrobora a importância de se poder realizar a automação dessa atividade.

É necessário ressaltar que nesse tópico foram apresentados três estudos sobre o custo da realização de inspeção de fachadas, logo se percebeu certa discrepância entre os valores observados. No entanto, em dois dos três exemplos os valores apresentados confirmaram a importância de se automatizar o processo de identificação, quantificação e planilhamento das informações obtidas na inspeção.

## 4 ENQUADRAMENTO, MÉTODO E CONDUÇÃO DA PESQUISA

Nesse capítulo serão abordados três temas que compõem a organização desse trabalho. No primeiro tema, abordado nos subtópicos 4.1 e 4.2, procurou-se esclarecer ao leitor em qual tipo de pesquisa esse trabalho se condiz. Para isso, foram realizadas inicialmente uma diferenciação entre os conceitos pertinentes a *design science* e às ciências tradicionais e, em seguida, uma abordagem de como essa pesquisa se enquadra nos conceitos de *design science*.

Já no subtópico 4.3 são apresentados o método de pesquisa e o detalhamento de como esse trabalho foi/está sendo conduzido dentro da proposta metodológica que considera a construção de um artefato para solução de um problema ou de uma classe de problemas.

### 4.1 *Design science* e Ciências tradicionais

Na literatura se observa o uso de várias expressões para se referir à *Design Science*. Entre essas expressões, os autores destacam *Design Science Research*, *Design Research*, *Design-based Research*, *Information System Research*, *Design Theory*, *Design-oriented Research*, *Information System Design Theory* (LIMA *et al.*, 2014).

Para Hevner (2007), a *Design science* destaca, de maneira pragmática, a busca por soluções que melhorem os sistemas existentes e/ou a geração de artefatos que aprimorem a atuação do homem em seu meio social ou organizacional. Para Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2012) é importante realizar comparações entre as ciências tradicionais e a *design science*, no entanto os autores relatam que os dois tipos de ciência não se opõem, mas se complementam.

Uma diferença importante entre as ciências tradicionais e a *design science* é que a visão da ciência tradicional ajuda a entender fenômenos “descobrendo as leis e forças que determinam suas características, funcionamento e resultados”, e a *design science* objetiva a criação e validação de sistemas inexistentes por meio de recombinação ou alteração de produtos, processos, software ou métodos (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR 2012). No Quadro 4, há um resumo das principais diferenças entre a ciência tradicional e a *design science*.

Quadro 4: Principais diferenças entre a ciência tradicional e a *design science*

<b>Categorias</b>	<b>Ciências tradicionais (sociais e naturais)</b>	<b><i>Design Science</i></b>
Propósito	Entender fenômenos organizacionais com base em uma objetividade consensual, desvendando os padrões gerais e as forças que explicam esses fenômenos.	Produzir sistemas que ainda não existem, isto é, mudar sistemas organizacionais e situações existentes para alcançar melhores resultados.
Modelo	Ciências naturais (física, por exemplo) e outras disciplinas que adotaram a abordagem científica (economia, por exemplo).	Design e Engenharia (por exemplo, arquitetura, engenharia aeronáutica, ciências da computação).

Fonte: Dresch, Lacerda, Antunes júnior (2012)

## 4.2 Enquadramento da pesquisa

Antes de apresentar a forma como esta pesquisa está delineada e o método de pesquisa utilizado, é necessário compreender o enquadramento metodológico no qual essa pesquisa está sendo conduzida. Considerando os princípios e conceitos apresentados por Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2012), pode-se afirmar que esta pesquisa está fundamentada na *Design Science*. No Quadro 5 são apresentados os principais conceitos da *Design Science* que norteiam esta pesquisa.

Quadro 5: Enquadramento da metodologia proposta

<b>Conceito Inerente a <i>Design Science</i> segundo Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015)</b>	<b>Enquadramento da Pesquisa</b>
<b>Conceito geral</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciência que procura consolidar conhecimentos sobre o projeto e desenvolvimento de soluções para melhorar sistemas existentes, resolver problemas e criar artefatos.</li> </ul>	Essa pesquisa procura consolidar os conhecimentos de visão computacional aplicados na identificação de deslocamento cerâmico, resolvendo um problema específico e criando um artefato (programa computacional).
<b>Artefato</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Algo que é construído pelo homem;</li> <li>• Interface entre o ambiente interno e o ambiente externo de um determinado sistema.</li> </ul>	Essa pesquisa visa à criação de um programa (artefato) que pode ser utilizado na nuvem.

<p><b>Soluções Satisfatórias</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Soluções suficientemente adequadas para o contexto em questão;</li> <li>• As soluções devem ser viáveis, não necessariamente ótimas.</li> </ul>	<p>A solução proposta nessa pesquisa se mostra viável, pois faz uso da combinação de elementos já utilizados para outras finalidades.</p>
<p><b>Classes de Problemas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• As soluções propostas pela <i>design science</i> devem permitir uma generalização das prescrições, ou seja, precisam ser generalizáveis para uma determinada classe de problemas.</li> </ul>	<p>O método proposto nessa pesquisa está centralizado no problema de identificação de deslocamento do revestimento cerâmico em fachadas. No entanto, o método aqui apresentado pode ser generalizado para a classe de problemas que considera outros tipos de manifestações patológicas.</p>
<p><b>Validade Pragmática</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Busca assegurar a utilidade da solução proposta para o problema.</li> <li>• Considera custo-benefício da solução, particularidades do ambiente em que será aplicada e as reais necessidade dos interessados na solução</li> </ul>	<p>A solução proposta nessa pesquisa além de útil evidencia como justificativa para proposição da mesma justamente a relação custo-benefício, pois uma avaliação em fachada utilizando VANT tem-se mostrado segura e com custo menor que as inspeções tradicionais.</p>

Fonte: autora (2021)

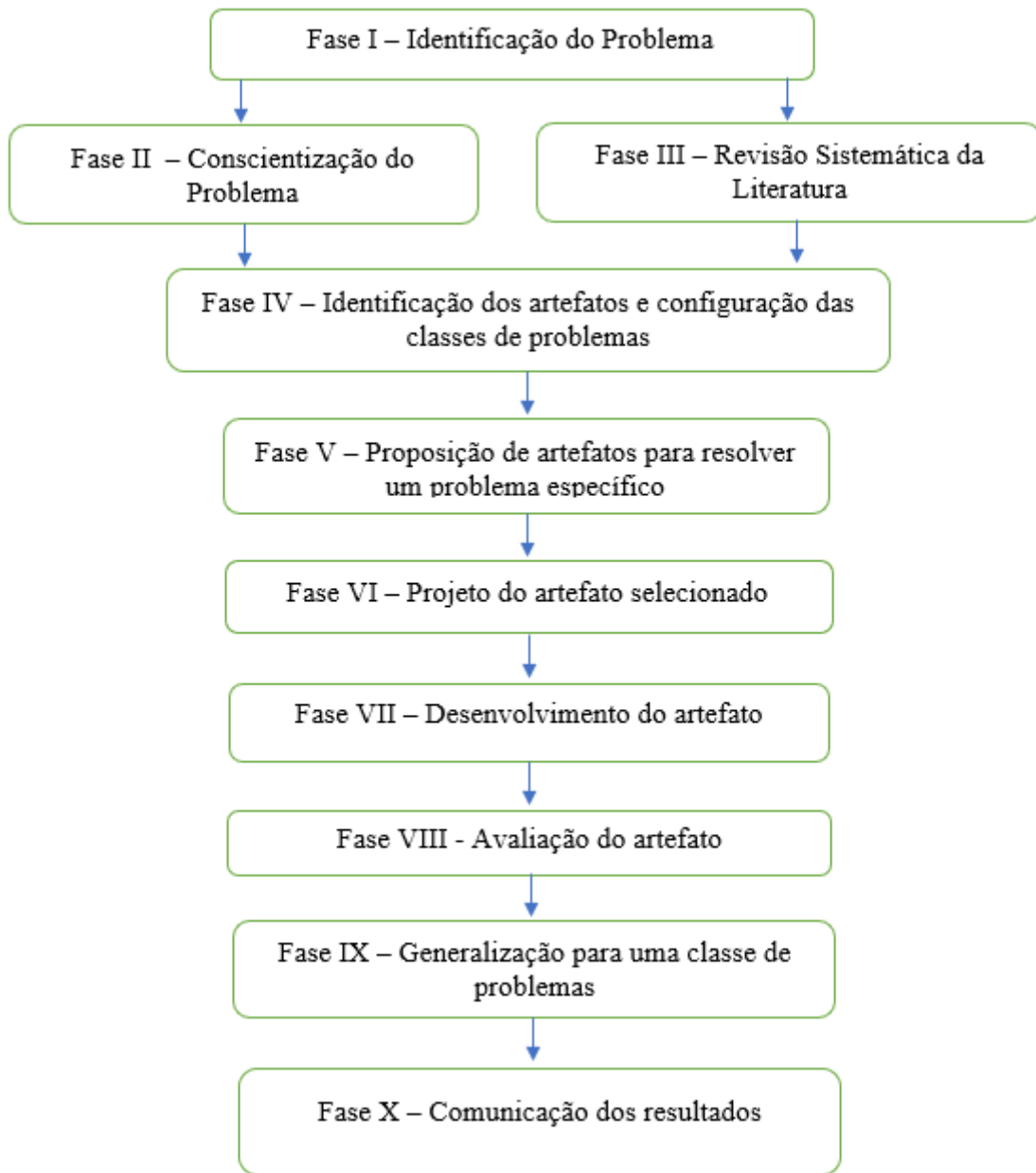
### 4.3 Método e Condução da Pesquisa

Quando uma pesquisa está inserida nos princípios da *Design Science*, surge o método de pesquisa denominado *Design Science Research (DSR)* (DRESCH, LACERDA, ANTUNES JÚNIOR, 2012). Este método busca produzir conhecimento na forma de uma prescrição para apoiar a solução de um determinado problema real, ou um projeto para construir um novo artefato. Para Lacerda *et al.* (2013), *Design Science Research* é o método de pesquisa que constrói a chamada “Ciência do Artificial” ou *Design Science*.

Após um compilado de diferentes propostas de condução de pesquisa através do método supracitado, Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2012) propuseram uma sequência de passos para execução do método *Design Science Research*. Os autores destacam que a *DSR* não exclui os demais métodos de pesquisa, pois o objetivo consiste em ampliar o portfólio de métodos disponíveis.

Considerando então que esta pesquisa está inserida no contexto da ciência do artificial e tem como propósito a criação de um artefato, adotou-se o método *Design Science Research* com a condução proposta por Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2012). Na Figura 24, há os passos propostos pelos autores e adotados para condução dessa pesquisa.

Figura 24: Passos adotados para condução da pesquisa



Fonte: Adaptado de Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2012)

Fase I: identificação do problema

Um problema para pesquisa *Design Science* precisa ser motivador, interessante e com solução útil aos usuários (SORDI, AZEVEDO E MEIRELES, 2015) Já Dresch, Lacerda e Miguel (2015) destacam que nessa etapa é importante que o pesquisador identifique claramente o problema de interesse e todas as suas possíveis relações com o contexto no qual está inserido.

Na presente pesquisa, a identificação do problema teve como ponto de partida leituras prévias de trabalhos relacionados a processos de automação de identificação de

manifestações patológicas. Percebeu-se inicialmente que, apesar de todo avanço tecnológico atual, processos de inspeção de fachadas ainda são realizados de maneira relativamente rudimentar ou com o auxílio de VANT, mas que a possibilidade de otimização ainda é uma questão a ser investigada.

Nesse contexto, definiu-se então o problema de pesquisa a ser estudado, a saber, o processo de automação de inspeção de fachadas com deslocamento cerâmico. As possíveis soluções para esse problema perpassam pela possibilidade de apresentar um artefato capaz de identificar de maneira automática as regiões cujas cerâmicas sofreram deslocamento e ainda gerar relatórios com o quantitativo de cerâmicas faltantes.

#### Fase II: Conscientização do problema

As fases de conscientização do problema e revisão sistemática da literatura são realizadas de forma transversal (conforme Figura 24). Essa transversalidade ocorre principalmente pelo fato de a conscientização do problema exigir, segundo Dresch, Lacerda e Júnior (2012), que o pesquisador busque o máximo de informações possíveis, assegurando a completa compreensão de suas características, causas e contexto.

Nessa pesquisa, então, a concretização dessa fase veio por intermédio da realização de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). A execução da RSL possibilitou a confirmação da necessidade de elaboração de um artefato que possibilite a automação do processo de inspeção de fachadas com deslocamento cerâmico. Os detalhes da realização da RSL são apresentados no subtópico a seguir.

#### Fase III: Revisão sistemática da literatura

Tendo em vista a necessidade de apontar os principais aspectos relacionados, a relação tríplice *Convolutional Neural Network* (Redes Neurais Convolucionais), utilização de VANT na construção civil e técnicas de identificação de manifestações patológicas em fachadas de Edifícios, foi realizada uma RSL. Essa revisão foi realizada por meio de uma busca estruturada nas principais bases de artigos científicos, considerando as principais publicações.

A organização metodológica dessa RSL se deu a partir de três fases: inspeção, seleção e extração. O conjunto de artigos em periódicos, que serviram para iniciar a fase de inspeção, refere-se ao que Galvão (2014), denomina de “busca na literatura”. Os critérios de exclusão aplicados em todas as fases são, na prática, a avaliação dos procedimentos metodológicos e da qualidade dos artigos analisados. A aplicação dos critérios de exclusão



resultaram na seleção dos artigos de interesse desta pesquisa. Por fim, o processo de extração foi realizado e os resultados da pesquisa foram redigidos e apresentados em gráficos e tabelas.

A RSL aqui apresentada foi realizada em dois períodos. No primeiro, compreendido entre março de 2020 e agosto de 2020, foi identificada a lacuna do conhecimento. Já em um segundo momento, compreendido entre setembro e outubro de 2022, quando os resultados preliminares já haviam sido publicados, buscou-se atualizar os achados da RSL.

O software START (*State of the Art Through Systematic Review*) foi utilizado como mecanismo computacional de auxílio à sistematização dessa pesquisa. Primeiramente foi realizada a escolha das bases de dados a serem investigadas. Para tal, iniciaram-se buscas no *Google Scholar* e Periódicos Capes a fim de se ter uma noção incipiente e de maneira ainda não sistemática sobre qual seria o domínio de busca a ser adotado.

Nas buscas iniciais, notou-se que as principais bases que indexam revistas cujo escopo se relaciona com a temática aqui abordada são Engineering Village, Scopus, IEEE, Science Direct e Web of Science. Após definidas as bases de dados, deu-se início à busca por artigos através de *Strings* que consistem em relações lógicas entre as palavras-chave escolhidas a partir do tema abordado nessa pesquisa, e são elas: UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), *Convolutional Neural Network*, *Building*, *Image processing*, *Construction pathologies*, *Software*, *Efflorescence*, *facades*, *Spalling*, *Hole*, *Crack* e *Ceramic Detachment*. Essa busca implicou um total de 2540 artigos no primeiro período e 472 no segundo, totalizando 3012 artigos encontrados. Os resultados obtidos estão discriminados por *Strings* na Tabela 6.

Tabela 6: Artigos encontrados e aceitos por base e String

<i>Strings</i> x Bases	Eng. Village	Scopus	Science Direct	Web of Science	IEEE
Convolutional Neural Network AND Building AND Ceramic Detachment	168	89	641	6	42
Image processing AND Pathologies in buildings	22	16	15	10	2
Convolutional Neural Network AND Construction pathologies	15	5	25	2	1
Image processing AND Construction pathologies	6	29	161	9	48
Software AND Building Construction pathologies	8	13	18	11	3
Efflorescence AND facades AND convolutional network AND UAV	0	0	5	0	0
Pathologies AND Construction Building	37	51	22	48	14
UAV and Construction Building	7	85	164	53	2
Pathology AND frontage of the building	0	0	94	0	0
Spalling AND facades AND convolutional network AND UAV	5	5	11	2	0
Crack AND facades AND convolutional network AND UAV	7	7	131	4	0
Pathologies AND facades AND Ceramic Detachment	64	86	398	99	0
Hole AND facades AND convolutional network AND UAV	1	1	108	1	0
(Crack OR Spalling OR Hole OR Efflorescence OR Ceramic Detachment) AND facades AND convolutional network AND UAV	8	8	119	5	0
<b>Total</b>	<b>348</b>	<b>395</b>	<b>1907</b>	<b>250</b>	<b>112</b>

Fonte: autora (2022)

A escolha das bases de pesquisa, das palavras-chave e das *Strings* foi denominada de fase de inspeção em que as *Strings* foram aplicadas nas bases de dados e com o auxílio do START os resumos dos artigos encontrados foram importados. Após esse momento, os primeiros critérios de exclusão foram aplicados.

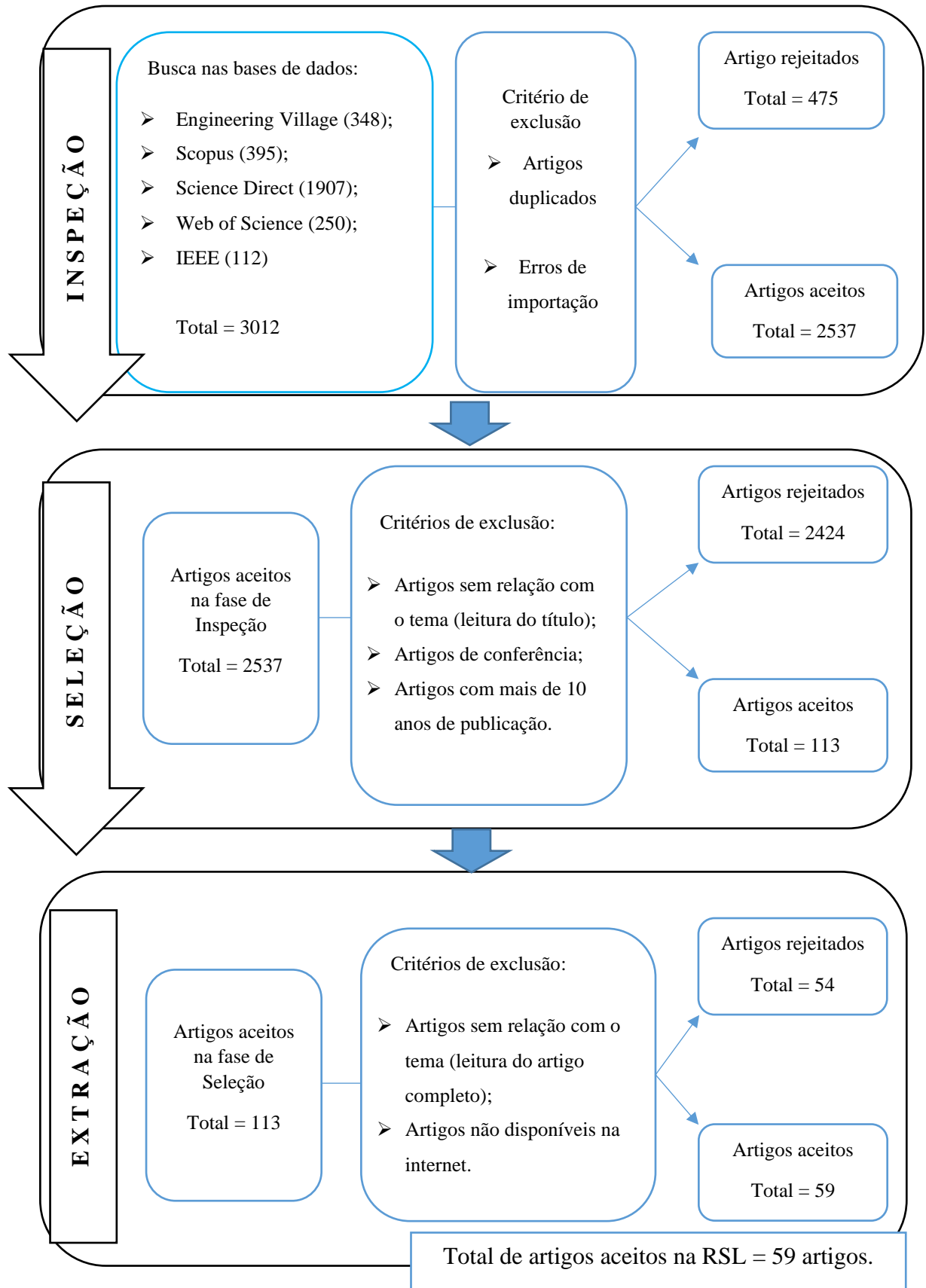
Sobre os artigos aceitos na fase de inspeção foram então aplicados novos critérios de exclusão: artigos sem relação com o tema (leitura do título); artigos de conferência e artigos com mais de 10 anos de publicação. Depois dessa etapa, chamada de “Seleção”, novamente alguns artigos foram excluídos e outros aceitos.

A última fase do processo de RSL foi denominada de extração quando os critérios de exclusão foram aplicados aos artigos aceitos na fase de seleção. Para tanto foi perpetrada uma leitura preliminar dos artigos, a fim de se realizar uma análise mais minuciosa.

Na fase de extração, foi feito *download* (quando possível) dos artigos aceitos na fase de seleção. Concomitantemente aos possíveis downloads e leitura dos respectivos artigos, foram aplicados os seguintes critérios de exclusão: artigos sem relação com o tema (leitura do artigo completo) e artigos não disponíveis na internet.

Na fase de inspeção, foram encontrados 3012 textos por meio de busca nas bases de dados e retirados 475 duplicados ou com erros de importação. Foram submetidos, então, à fase de seleção os 2537 artigos, dos quais 2424 foram excluídos por conta dos critérios de exclusão estabelecidos, restando assim 113 artigos para serem avaliados na fase de extração. Por fim, nesse último momento 54 estudos foram rejeitados e 59 aceitos (Figura 25).

Figura 25: Fluxograma de execução da Revisão Sistemática da Literatura — RSL



Fonte: autora (2022)

Após a leitura dos artigos resultantes da fase de exclusão percebeu-se que estes pertencem a 7 subtemáticas: artigos que relacionam *Convolutional Neural Network (CNN)* e Patologias; os que relacionam CNN e imagens diversas da construção Civil; artigos que relacionem VANT e imagens diversas da construção civil; os que relacionem VANT, CNN e imagens diversas da construção civil; artigos que fazem identificação de patologias com outras metodologias tecnológicas; artigos que versam sobre o uso de VANT para identificação de patologias e artigos que utilizam VANT para captação de imagens de patologias e processam essas imagens utilizando CNN.

#### Fase IV: Identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas

A identificação dos artefatos foi motivada principalmente por uma inquietação durante as leituras dos artigos encontrados na fase de revisão da literatura. Percebeu-se nesse momento a existência diversss métodos cujo objetivo é auxiliar o processo de inspeção, quer seja utilizando VANT, quer seja utilizando técnicas de processamento de sinais. No entanto, o que trouxe inquietação foi o fato de esses trabalhos se limitarem a proposições teóricas sem a elaboração de mecanismos que possibilitassem o uso de suas proposições e achados.

Foi nesse contexto, então, que se identificou a necessidade de propor um método que auxiliasse no processo de inspeção de fachadas e que pudesse ser utilizado por profissionais da área, identificando assim a necessidade do artefato, que, nesse caso, consiste em um software que possa ser utilizado na nuvem e exportasse o relatório a ser empregado por programas da tecnologia BIM.

Após verificar a necessidade de proposição de um artefato a ser utilizado na solução da problemática estudada, verificou-se então como se poderia chegar a um artefato que resolvesse de forma satisfatória o problema de identificação de deslocamento cerâmico. Para tal, constatou-se, ainda com base na revisão de literatura, que metodologias baseadas em visão computacional poderiam ser aproveitadas para construção do artefato.

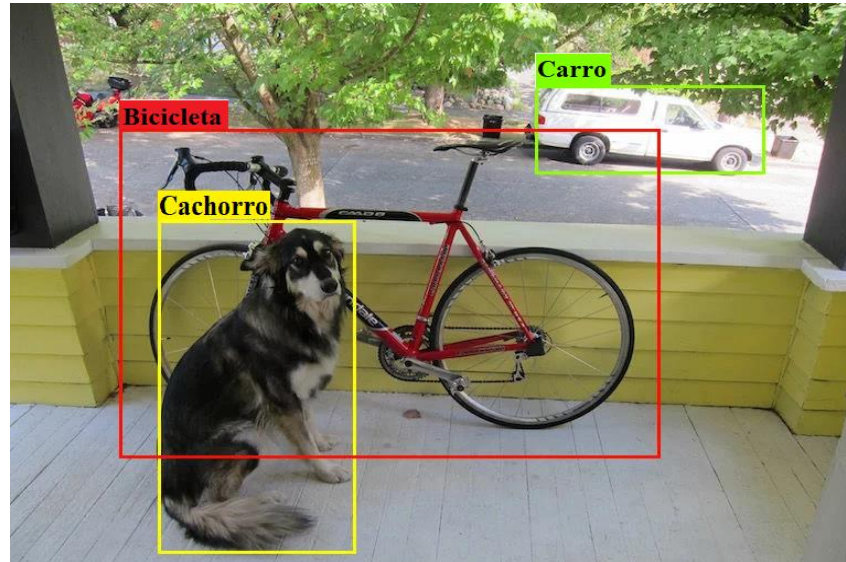
Nessa fase, ainda se verifica que o possível artefato a ser proposto poderia, em trabalhos futuros, ser generalizado para uma classe de problemas, como identificar outros tipos de manifestações patológicas.

#### Fase V: Proposição de artefatos para resolver o problema

Tendo em vista que, tradicionalmente, a inspeção de fachadas é realizada de maneira visual, verificou-se na fase de proposição do artefato a possibilidade de automação dessa tarefa por meio de um algoritmo de visão computacional. Propôs-se, assim, que o artefato

fosse construído tendo como base a técnica de visão computacional conhecida como identificação de objetos (Figura 26).

Figura 26: Exemplo de detecção de objetos



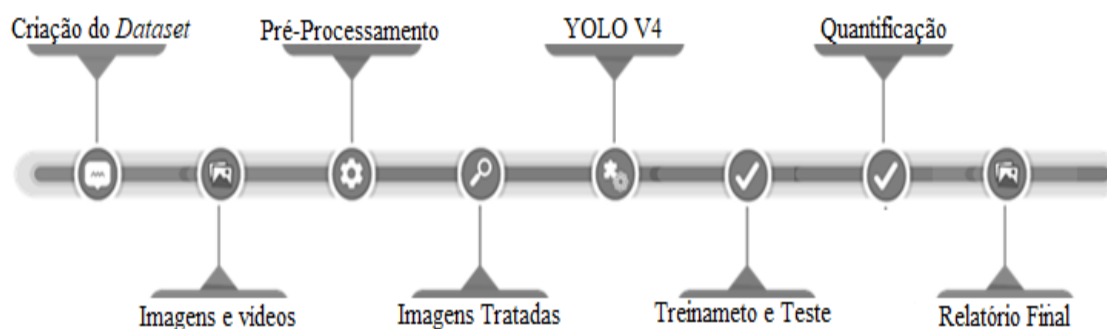
Fonte: adaptado de Redmon e Farhadi (2017)

Vale ressaltar que a técnica de detecção de objetos, por ter como objetivo criar caixas delimitadoras, permite que a área detectada seja calculada por meio de geometria simples e, desse modo, possa auxiliar no cálculo da quantidade de cerâmicas a ser utilizada no processo de recuperação da fachada.

#### Fase VI: Projeto do artefato selecionado

O projeto do artefato selecionado seguiu as etapas que já estão bem-definidas na literatura para detecção de objetos, ou seja, construção de um *Dataset* (imagens e vídeos), Pré-processamento das imagens (imagens tratadas) e aplicação do algoritmo YOLO v4 para identificação das regiões com deslocamento cerâmico (treinamento e teste). A Figura 27 ilustra as etapas do projeto do artefato selecionado.

Figura 27: Etapas do projeto do artefato selecionado



Fonte: autora (2020)

Além das etapas já usadas com frequência nas proposições de algoritmos de visão computacional e citadas anteriormente, foi proposta nesse trabalho mais uma: a quantificação das áreas com deslocamento cerâmico. Sendo assim, são quatro as etapas que constituem o projeto do artefato selecionado.

#### Etapa I — Construção do *Dataset*

O projeto de construção do artefato teve como início a criação de um conjunto de dados. Tendo em vista que bons resultados são diretamente proporcionais à quantidade de imagens para o treinamento do modelo computacional utilizado e que a formação do conjunto de dados pode ser uma limitação, então foram realizadas duas ações a fim de amenizar essa problemática.

A primeira ação foi empregar um método para aumentar a quantidade de imagens fazendo rotação e espelhamento das mesmas. A outra ação foi utilizar uma rede com pesos pré-treinados, pois, segundo Yosinski *et al.* (2014), esses pesos diminuem a necessidade de retrainar todos os parâmetros da rede neural.

O banco de imagens utilizado para o treinamento do artefato foi construído da seguinte maneira:

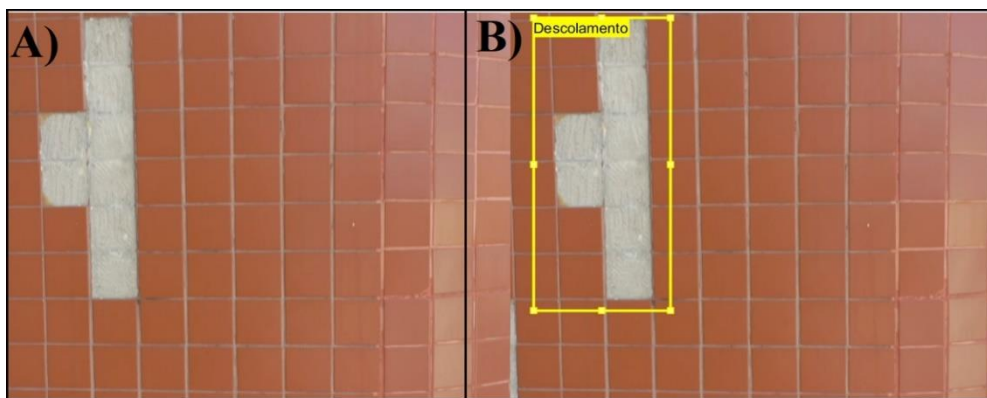
- a. Por meio de um celular foram capturadas imagens de fachadas de prédios históricos, comerciais e públicos no centro comercial das cidades de Belém (PA), São Luís (MA) e Imperatriz (MA);
- b. Utilizando um VANT foram filmadas as fachadas de 4 edifícios da cidade de Belém (PA), . Os vídeos obtidos nas filmagens foram processados de tal forma que os principais “frames” foram retirados para compor o banco de imagens;
- c. A formação do conjunto de imagem foi concluída após uma averiguação foto por foto a fim de retirar aquelas de baixa qualidade.

Ao final da tarefa de coleta de imagens e vídeos, obteve-se um conjunto de dados composto por um total de 670 imagens. Essas imagens foram aproveitadas para treinamento do modelo de visão computacional YOLO v4. Por outro lado, as imagens empregadas para teste tanto da YOLO quanto do algoritmo proposto para quantificação (53 imagens) foram obtidas em um segundo momento de coleta no qual se procurou obedecer ao protocolo proposto por Ruiz *et al.* (2021) e ilustrado na Figura 23.

## Etapa II — Pré-processamento das Imagens

Antes da aplicação do algoritmo de identificação de objetos YOLO v4, é necessário que as imagens sejam rotuladas. A rotulação das imagens de treino e teste foi realizada manualmente com auxílio do aplicativo *Image LabelImg*, que é uma ferramenta gratuita escrita em python, com código aberto, cuja função é rotular imagens graficamente (NELSON 2020). Na Figura 28, é possível observar um exemplo de imagem com e sem rotulação.

Figura 28: Exemplo de foto pré-processada pelo aplicativo Image Labeler: A) foto sem rótulo B) foto com rótulo.



Fonte: os autores (2021)

Após o processo de rotulação de todas as imagens, foi aplicada então a rede YOLO v4 a fim de identificar as regiões com descolamento cerâmico e mensurar o acerto da rede. A aplicação desse algoritmo bem como os parâmetros utilizados estão descritos no tópico a seguir.

## Etapa III — Identificação de Deslocamento — Aplicação do algoritmo YOLO v4

A arquitetura da rede utilizada nesse trabalho é composta por 150 camadas, sendo 1 camada de entrada, 13 camadas Addition, 45 Batch Normalization, 46 Convolucionais, 1 Max Pooling, 42 ReLU, 1 YOLO v4 Transform e 1 camada de saída. O Algoritmo utilizado para a otimização foi o gradiente descendente estocástico com otimizador de momentum. O tamanho dos minibatches definido foi 10, e a taxa de aprendizagem inicial estabelecida foi 0,01. A aplicação desse algoritmo consiste em primeiramente realizar um treinamento e em seguida o teste.

## Etapa IV — Quantificação de Deslocamento Cerâmico

A segunda parte do objetivo de execução do artefato proposto consiste no processo de quantificação de cerâmicas faltantes nas imagens capturadas. A contagem automatizada dessas cerâmicas é feita em duas fases. Na primeira fase é calculada a quantidade de pixels



que compões uma cerâmica. Para tal, é necessário que entre as imagens capturadas tenha pelo menos uma sem deslocamento. Essa imagem se denomina Imagem Base. O Algoritmo 1 apresenta um resumo de como é realizada essa fase da contagem.

---

### Algoritmo 1

---

Entrada: Imagem Base

1. Transformar a imagem RGB para preto e branco
2. Calcular a média de cada coluna e armazenar em um vetor  $x$
3. Identificar os picos do vetor  $x$
4. Calcular a variação  $V(i) = x(i) - x(i - 1)$  com  $i = 2, 3, 4, \dots, N$
5. Armazenar as distâncias dos picos de  $V$  em  $d_v$
6. Calcular a média dos valores de  $d_v$  maiores do que 50 e armazenar em  $\bar{d}$

Saída  $\bar{d}^2$

---

O valor  $\bar{d}^2$  calculado no Algoritmo 1 é então utilizado como parâmetro de entrada para o algoritmo que irá calcular a quantidade de cerâmicas ausentes em todas as imagens submetidas ao artefato. No Algoritmo 2, há um resumo de todos os passos computacionais utilizados para a contagem proposta.

---

### Algoritmo 2

---

Entradas: Imagem e  $\bar{d}^2$

1. Aplicar o algoritmo YOLO para identificar as regiões com deslocamento cerâmico
2. Recortar as regiões identificadas pelo algoritmo YOLO
3. Aplicar o algoritmo k-means com  $k = 2$
4. Contar o número de elementos  $n$  do conjunto referente a classe sem cerâmica
5. Calcular o número de cerâmicas faltantes

$$N = \frac{n}{\bar{d}^2}$$

Saída  $N$

---

Os resultados de quantidade de cerâmica  $N$  de cada imagem submetida ao artefato são, no final do processo, exportados em um relatório (arquivo de texto .txt e planilha do *excel*) para que possa ser utilizados em aplicativos de tecnologia BIM ou até mesmo para outros fins.

#### Fase VII: Desenvolvimento do artefato

O artefato foi então desenvolvido na nuvem na plataforma *Google Colab*. A escolha dessa plataforma se deu por esta ser um ambiente que permite programação em python com acesso a uma unidade de processamento gráfico GPU (*graphics processing unit*) da empresa Google o que “agiliza” o processo de treinamento do algoritmo YOLO v4. O tempo para realização do treinamento foi de 18h, e os testes levaram em média 5 min.

#### Fase VIII: avaliação do artefato

Em problemas como os de detecção de objetos, a avaliação do artefato é realizada averiguando a capacidade de acerto e os possíveis erros do algoritmo. As possibilidades de acerto/erro podem ser organizadas e representadas em uma matriz conhecida como matriz de confusão ou tabela de contingência.

A matriz de confusão é composta por quatro variáveis: Verdadeiros Positivos (TP) são exemplos corretamente rotulados como positivos; Falsos Positivos (FP) se referem a exemplos negativos incorretamente rotulados como positivos; Verdadeiros Negativos (TN) correspondem aos negativos corretamente rotulados como negativos; e os Falsos Negativos (FN) que é a quantidade de amostras positivas rotulados de maneira incorreta como negativos (DAVIS; GOADRICH, 2006). Uma matriz de confusão é mostrada no Quadro 5.

Quadro 5 — Matriz de confusão

Valor Predito			
Sim	Não		
Verdadeiro Positivo (TP)	Falso Negativo (FN)	Sim	Real
Falso Positivo (FP)	Verdadeiro Negativo (VN)	Não	

Fonte: (DAVIS; GOADRICH, 2006).

Para melhor exemplificar o conceito de matriz de confusão aplicada à identificação de deslocamento cerâmico, são expostas na Figura 29 amostras das quatro variáveis que compõem a matriz.

Figura 29: Exemplos das variáveis da matriz de confusão



Fonte: autora (2022)

Algumas métricas de avaliação podem ser associadas à matriz de confusão, como, acurácia, sensibilidade, especificidade,  $F_1$ -Score, precisão e recall, sendo estas métricas as que foram utilizadas nesta pesquisa para validar a interpretação das imagens pelo algoritmo.

Em problemas de detecção de objetos é comum utilizar como parâmetro avaliativo dos resultados a precisão,  $F_1$ -Score e recall (LISON; MAVROEIDIS, 2017). Essas métricas estão definidas nas equações 7 a 9 a seguir. Na equação 7 está definida a métrica *Recall* como sendo o quociente entre o total de verdadeiros positivos e a soma entre a quantidade de falsos negativos e verdadeiros positivos. O recall mede a fração de exemplos positivos que estão rotulados corretamente, ou seja, é a taxa de valores classificada como positivo, comparada com quantos deveriam ser (Equação 7).

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (7)$$

A definição de precisão é bastante semelhante a recall, sendo definida como o quociente entre o total de verdadeiros positivos e a soma entre os falsos positivos e verdadeiros positivos. A precisão mede a fração de exemplos classificados como positivos que são verdadeiramente positivos em um universo de todos os que foram classificados como positivo (Equação 8).

$$Precisão = \frac{TP}{TP+FP} \quad (8)$$

Por fim, a última métrica de avaliação do artefato, a métrica  $F_1$ . Essa métrica é definida como sendo o quociente entre o produto da precisão e recall e a soma entre precisão e recall. A métrica F1-Score é uma medida utilizada para se obter equilíbrio entre precisão e recall, pois como observado na Equação 9 consiste na média ponderada entre as duas primeiras métricas (LISON; MAVROEIDIS, 2017) (Equação 9).

$$F_1 = 2x \left( \frac{Precisão \times Recall}{Precisão + Recall} \right) \quad (9)$$

A interpretação das métricas de avaliação apresentadas consiste no seguinte: quanto mais próximo de 1 o valor encontrado na respectiva métrica, melhor o resultado da identificação.

#### Fase IX: Generalização para uma classe de problemas

Essa pesquisa se propôs a elaboração de um artefato que solucionasse de maneira satisfatória o problema de identificação de deslocamento cerâmico, fazendo com que áreas cujas cerâmicas já tenham sido descoladas possam ser identificadas e mensuradas de maneira automática.

É importante salientar que, apesar de a pesquisa ter como foco a identificação de deslocamento cerâmico em fachadas de edifícios, o artefato proposto, caso necessário, pode ser generalizado para identificar deslocamento em regiões distintas das fachadas, como muros e pisos.

É importante mencionar que a generalização da utilização do artefato para uma classe de problemas que envolvem muros e pisos não depende de um novo treinamento do algoritmo com novas imagens e nem de novo teste e ou nova avaliação.

#### Fase X: Comunicação dos resultados

Os resultados obtidos nessa pesquisa foram separados em dois grupos, a saber, resultados de identificação da manifestação patológica e resultados de quantificação e planilhamento. Os resultados de identificação foram publicados na revista Ambiente Construído com o título “*Identification of Ceramic Cladding Detachment in Building Facades Using Digital Image Processing Techniques and Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*”. Os resultados oriundos do algoritmo de quantificação e planilhamento, no momento

da defesa, estão em fase de revisão. Sobre o processo total que envolve identificação, quantificação e planilhamento, uma comparação, em termos de custo e tempo de execução, também é apresentada na comunicação dos resultados.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da pesquisa descritos nesse capítulo consideraram a construção e análise do artefato proposto. Primeiramente, são apresentados os resultados oriundos do processo de construção do artefato produto dessa pesquisa. Posteriormente, é realizada a avaliação do algoritmo proposto para determinar a quantidade de cerâmica deslocada em cada imagem capturada pelo VANT. As imagens utilizadas nas simulações de teste foram as obtidas a partir do protocolo proposto por Ruiz *et al.* (2021) ilustrado anteriormente na Figura 23 (seção 3.3.2) desse trabalho.

### 5.1 Construção do Artefato Proposto

Nessa pesquisa, a proposta de um artefato foi apresentada como ponto central. O artefato proposto, cujo objetivo é realizar de forma automatizada a identificação e quantificação de deslocamento cerâmico em fachadas de edifícios, foi construído a partir da realização de três etapas: coleta e processamento das imagens, identificação das regiões com deslocamento cerâmico e quantificação das cerâmicas deslocadas. A seguir estão descritos os principais resultados obtidos nessas fases.

#### 5.1.1 Coleta e processamento das imagens

A coleta das imagens utilizadas na construção do artefato se deu em duas etapas. Na primeira etapa foram coletadas imagens para treinamento do algoritmo YOLO v4. Na segunda etapa, as imagens coletadas foram utilizadas tanto para teste da YOLO v4 quanto para quantificação.

##### a) Coleta de Imagens para treino da YOLO v4

Inicialmente, um VANT foi utilizado para filmar as fachadas de 4 edifícios da cidade de Belém (PA), denominados aqui por A, B, C e D. Algumas características desses edifícios estão resumidas na Tabela 7.

Tabela 7: Informações sobre os edifícios inspecionados

<b>Edifício</b>	<b>Bairro/Cidade</b>	<b>Nº de andares</b>
A	Marco/Belém	30
B	São Brás/Belém	13
C	Cremação/Belém	17
D	Nazaré/Belém	25

Fonte: Aautora 2023

Para filmagem dessas fachadas foi necessária autorização documentada dos respectivos síndicos (modelo no Anexo A) e aprovação, por parte do Departamento de Controle do Espaço Aéreo, do plano de voo (Anexo B). Na Figura 30 consta um registro de um dos momentos de filmagem.

Figura 30: Captura das imagens com o VANT



Fonte: autora (2020)

Após a captura dos vídeos e das fotos como descrito anteriormente, transformaram-se os vídeos em fotos, retirando “frames” que continham áreas com deslocamento cerâmico. Para realização dessa tarefa foi utilizado o *software Matlab*. Na Figura 31 é apresentado um dos frames retirados dos vídeos.

Figura 31: Exemplo de frame retirado dos vídeos



Fonte: autora (2020)

A outra maneira de capturar imagens para compor o banco de dados se deu a partir da utilização de aparelhos celulares para fotografar prédios históricos, comerciais e públicos no centro comercial das cidades de Belém (PA), São Luís (MA) e Imperatriz (MA). Na Figura 32 é possível observar a foto da fachada de um prédio da cidade de Imperatriz na qual há uma região com deslocamento cerâmico.

Figura 32: Exemplo de imagem capturada com celular



Fonte: autora (2020)

O conjunto de imagens capturadas por celular juntamente com os frames retirados dos vídeos feitos com VANT formaram então o conjunto de imagens processadas e utilizadas no treinamento da YOLO v4. Esse conjunto de imagens foi submetido a uma verificação visual foto por foto a fim de retirar aquelas de baixa qualidade. Após essa verificação foi obtido então o conjunto de 670 imagens que foram utilizadas no treinamento do algoritmo.

b) Coleta de Imagens para teste da YOLO v4 e quantificação de regiões com deslocamento cerâmico

Em um segundo momento de coleta de dados, o protocolo proposto por Ruiz *et al.* (2021) foi utilizado para captura de imagens. Nessa etapa foram tiradas 53 fotos com VANT da fachada de outro edifício da cidade de Belém. Essas imagens foram então utilizadas para teste tanto da YOLO v4 quanto do algoritmo proposto para quantificação.

### 5.1.2 Identificação das regiões com deslocamento cerâmico

A fim de verificar a eficácia da rede em identificar regiões com deslocamento cerâmico foi realizado o treinamento e o teste do algoritmo YOLO v4. O resultado dessas duas fases está descrito a seguir:



a) Resultados de treinamento da YOLO v4

O modelo computacional utilizado para identificar deslocamento cerâmico (YOLO v4) é um algoritmo proposto e disponibilizado em forma pública por Bochkovski *et al.* (2020) para treinamento e consequentemente aplicação em quaisquer área do conhecimento, necessitando apenas de treinamento específico. A plataforma para treinamento da YOLO foi o *google colab*. Para o treinamento da rede foram utilizadas 670 imagens, nas quais foi observado um total de 1074 regiões de deslocamento cerâmico. Os valores de verdadeiro positivo, falso positivo e falso negativo estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8: Resultados da aplicação do algoritmo YOLO

Descrição	Quantidade
Verdadeiros Positivo — TP	1072
Falsos Positivos — FP	1
Falsos Negativos — FN	2

Fonte: autora (2022)

Com os valores descritos na Tabela 8, calculou-se então considerando os valores de precisão, recall e  $F_1$  a fim de quantificar o desempenho do detector. Os valores obtidos foram precisão=0,9991, recall=0,9981 e  $F_1 = 0,9991$ .

Observando a Tabela 4, percebe-se que tanto o número de falsos positivos quanto de falsos negativos foi extremamente baixo, o que demonstra a eficiência da rede na fase de treinamento. A Figura 33 mostra imagens nas quais foram identificados falsos positivos (Figura 33 a) e falsos negativos (Figura 33 b).

Figura 33: Imagens resultantes do treinamento: a) falso positivo e b) falso negativo



Fonte: autora (2022)

Apesar do número baixo de imagens utilizadas no treinamento, os valores de precisão, recall e  $F_1$  obtidos nessa fase demonstram que, aparentemente, o algoritmo desempenhou a tarefa de aprendizado de maneira satisfatória. Para confirmar (ou refutar)

essa observação foi então realizado o teste do algoritmo de identificação de deslocamento cerâmico, cujos resultados estão descritos no “item b” desse subtópico.

b) Resultados de teste da YOLO v4

Na fase de teste do algoritmo foram utilizadas 53 imagens capturadas segundo protocolo preestabelecido. Nas imagens analisadas, foi observado um total de 151 regiões nas quais o revestimento cerâmico deslocou. Os valores de verdadeiro positivo, falso positivo e falso negativo estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9: Resultados da aplicação do algoritmo YOLO

Descrição	Quantidade
Verdadeiros Positivo — TP	149
Falsos Positivos —FP	1
Falsos Negativos —FN	2

Fonte: autora (2022)

Com os dados descritos na Tabela 9, calcularam-se então os valores de precisão, recall e  $F_1$  a fim de quantificar o desempenho do detector. Os resultados obtidos foram precisão=0,9933, recall=0,9868 e  $F_1 = 0,99$ .

Tendo em vista que os valores de falso positivo e falso negativo foram baixos, resolveu-se destacar as imagens nas quais ocorreram esses erros. Na Figura 34, por exemplo, consta a imagem na qual a rede identificou de forma equivocada uma caixa de ar-condicionado como se fosse uma região com deslocamento, ou seja, o falso positivo. Nessa mesma imagem, é possível perceber ainda que uma região com deslocamento cerâmico não foi identificada pela YOLO, ou seja, um falso negativo.

Figura 34: Identificação do falso positivo e falso negativo



Fonte: autora (2022)

É importante salientar que, apesar de o falso positivo identificado pela rede se tratar de uma caixa de ar-condicionado, objeto muito comum em fachadas de edifícios, diversas fotos também possuíam o mesmo objeto, embora a rede nas demais fotos não tenha cometido o mesmo erro, ou seja, não é padrão da rede identificar a caixa como sendo região sem cerâmica.

Verifica-se ainda na Figura 34 a presença de um falso negativo, ou seja, uma região sem cerâmica não identificada pela YOLO. A segunda região com deslocamento cerâmico não identificada pelo algoritmo pode ser observada na Figura 35.

Figura 35: Identificação de falso negativo



Fonte: autora (2022)

Vale destacar que os falsos negativos impactam diretamente no cálculo da quantidade de cerâmicas faltantes, pois nesse caso o algoritmo irá “contar” um valor inferior ao que realmente é. No entanto, esse erro por falta é compensado pelos erros por excesso como será visto no subtópico seguintes.

### 5.1.3 Quantificação das cerâmicas deslocadas

Após identificar as regiões com deslocamento cerâmico o algoritmo proposto passa a fase de contagem das cerâmicas. Essa fase se inicia com o cálculo da relação pixels por cerâmica. Para determinar tal relação primeiramente uma imagem base originalmente RGB é transformada em preto branco (Figura 36).

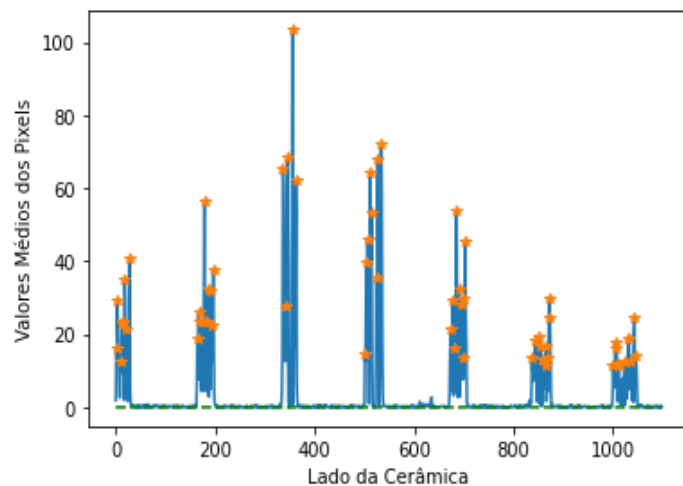
Figura 36: Imagem base em preto e branco



Fonte: autora (2022)

Após a transformação apresentada na Figura 36, o cálculo da média de cada coluna foi realizado. Como os pixels de cor preta têm valores iguais a zero e os de cor branca têm valores iguais a 255, então ao se calcular as médias de cada coluna obtém-se uma série numérica com valores de picos nas regiões de linhas brancas (Figura 37).

Figura 37: Média dos pixels da imagem base



Fonte: autora (2022)

A média entre as maiores distâncias entre os picos apresentados na Figura 37 (ver Algoritmo 1) determina então a quantidade de pixels por lado de uma cerâmica (174 pixels), que elevado ao quadrado resulta na área de uma cerâmica (30276 pixels). Esse valor de pixel é utilizado como constante no cálculo das áreas sem cerâmica de acordo com o Algoritmo 2 descrito na metodologia desse trabalho, especificamente na Etapa IV da Fase VI. A área das

regiões sem cerâmica calculada nessa fase é então exportada pelo artefato em arquivo de texto de extensão .txt conforme Figura 38.

Figura 38: Relatório com resultados exportado pelo artefato

Resultados - Bloco de Notas  
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem\_2.png é: 13.0  
 A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem\_3.png é: 27.0  
 A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem\_4.png é: 43.0  
 A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem\_5.png é: 59.0  
 A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem\_6.png é: 81.0  
 A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem\_7.png é: 107.0  
 A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem\_8.png é: 28.0  
 A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem\_9.png é: 37.0  
 A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem\_10.png é: 38.0  
 A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem\_11.png é: 56.0  
 A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem\_12.png é: 12.0  
 A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem\_13.png é: 22.0  
 A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem\_14.png é: 14.0

Fonte: autora (2023)

A estrutura do relatório exportado pelo programa foi pensada de tal modo que ela também pudesse ser aberta pelo *software Microsoft Excel* (Figura 39) a fim de se proceder em possíveis cálculos.

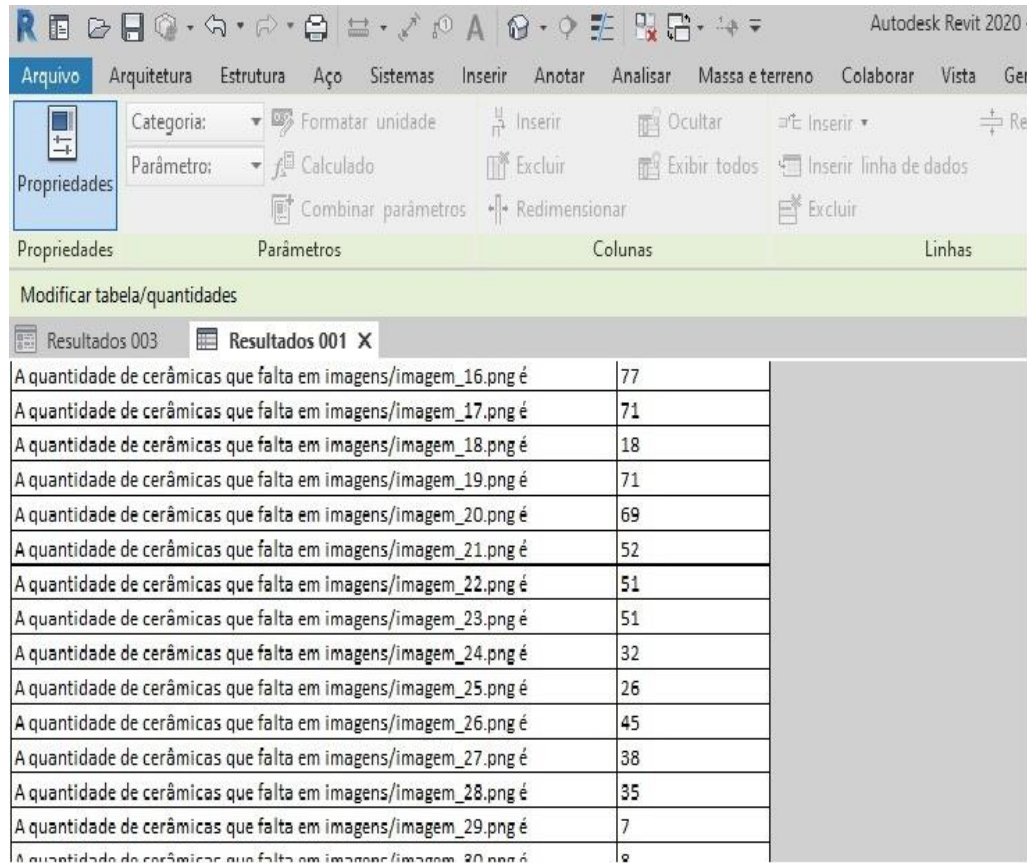
Figura 39: Relatório com resultados em formato de planilha

	A	B
1	A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_1.png é	2.0
2	A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_2.png é	13.0
3	A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_3.png é	27.0
4	A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_4.png é	43.0
5	A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_5.png é	59.0
6	A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_6.png é	81.0
7	A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_7.png é	107.0
8	A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_8.png é	28.0
9	A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_9.png é	37.0
10	A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_10.png é	38.0

Fonte: autora (2023)

O planilhamento dos resultados em arquivo “.xlsx” (*Microsoft Excel*), além de possibilitar que o usuário possa realizar cálculos na própria planilha de resultados permite a utilização do mesmo em programas que compõe a tecnologia BIM, como por exemplo o *Revit*. Na Figura 40 consta um exemplo de como a planilha com os resultados de quantificação pode ser importada para um projeto realizado no *Revit*.

Figura 40: Importação da planilha pelo Revit



Propriedades	Parâmetros	Colunas	Linhas
Modificar tabela/quantidades			
Resultados 003 Resultados 001 X			
A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_16.png é		77	
A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_17.png é		71	
A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_18.png é		18	
A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_19.png é		71	
A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_20.png é		69	
A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_21.png é		52	
A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_22.png é		51	
A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_23.png é		51	
A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_24.png é		32	
A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_25.png é		26	
A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_26.png é		45	
A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_27.png é		38	
A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_28.png é		35	
A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_29.png é		7	
A quantidade de cerâmicas que falta em imagens/imagem_30.png é		9	

Fonte: Autora (2023)

Após verificar que o artefato foi capaz de exportar os arquivos de resultados conforme se almejava, uma avaliação quantitativa dos resultados obtidos foi realizada e está apresentada no subtópico a seguir.

## 5.2 Avaliação do Artefato

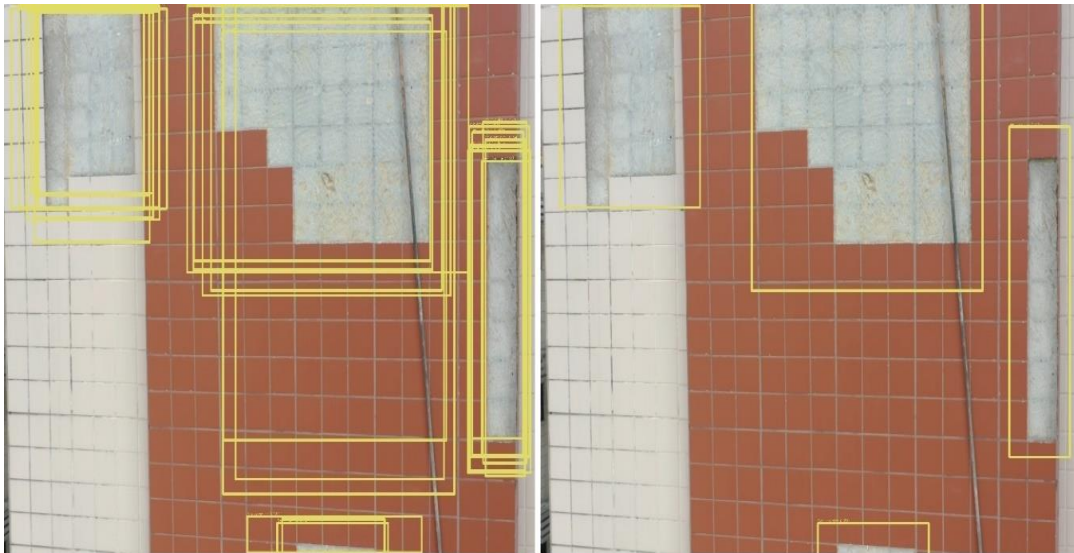
Para melhor compreensão da estrutura de apresentação dos resultados nessa seção é importante entender o impacto que dois importantes parâmetros de entrada causam no processo de identificação dos “objetos” desejados. Esses parâmetros são o *Threshold* e o *Threshold Non-Maximum Suppression (Threshold — NMS)*.



Em resumo, o parâmetro *Threshold* determina a confiança mínima para que uma caixa delimitadora seja escolhida sobre um objeto. No entanto, caso esse valor seja muito baixo o detector irá escolher muitas caixas para um mesmo objeto, como ilustrado na Figura 41a. Por outro lado, se o valor do *Threshold* for alto a rede não irá indicar caixas com pouca confiança fazendo com que objetos deixem de ser identificados.

Para amenizar esse problema, o parâmetro *Threshold — NMS* é introduzido no detector e funciona como filtro que escolhe a melhor caixa delimitadora com base, entre outros critérios, na interseção entre as mesmas. Um exemplo da aplicação do *Threshold — NMS* é apresentado na Figura 41.

Figura 41: Exemplo de aplicação do *Threshold — NMS*: a) detecção sem aplicação do *Threshold — NMS* — b) detecção após a aplicação do *Threshold — NMS*.



Fonte: autora (2022)

Observando a Figura 41, pode-se concluir que a escolha da combinação de valores para *Threshold* e *Threshold — NMS* implica diretamente a posição e o tamanho das caixas delimitadoras e conseqüentemente no cálculo da quantidade de cerâmicas deslocadas. Diante do exposto, optou-se por averiguar o impacto desses parâmetros nos resultados obtidos pelo algoritmo proposto para quantificação de áreas com deslocamento cerâmico.

Para avaliar a eficiência do algoritmo proposto para quantificação foi calculado o valor de erro entre a quantidade obtida com o algoritmo e a quantidade real de cerâmica faltante. Para determinar a quantidade real de cerâmica foi realizada uma contagem observando foto por foto.

A primeira observação importante a ser ressaltada nesse processo se refere ao tempo que se levou para contar visualmente as cerâmicas que foi de 74 minutos enquanto o algoritmo realizou a mesma tarefa em 5 minutos. Essa diferença de tempo ratifica a importância de se automatizar esse processo. Na Tabela 10, há um resumo dos principais resultados obtidos no processo de quantificação de deslocamento cerâmico.

Tabela 10: Resumo geral dos resultados de quantificação

<i>Threshold</i> — <i>NMS</i>	<i>Threshold</i>	<b>Erro Total</b>	<b>Erro Médio</b>
0,30	0,10	80 cerâmicas	1,5 cerâmicas
	0,15	80 cerâmicas	1,5 cerâmicas
	0,20	77 cerâmicas	1,4 cerâmicas
0,20	<b>0,10</b>	<b>19 cerâmicas</b>	<b>0,3 cerâmicas</b>
	0,15	23 cerâmicas	0,4 cerâmicas
	0,20	20 cerâmicas	0,3 cerâmicas

Fonte: autora (2022)

Fazendo uma observação geral, percebe-se que a combinação de valores 0,20 e 0,10 para os parâmetros *Threshold* e *Threshold* — *NMS* respectivamente foi a que apresentou os melhores resultados de quantificação (erro médio de 0,3 cerâmicas). Nos subtópicos a seguir serão apresentados de forma mais detalhada os valores de simulação obtidos com o modelo proposto.

### 5.2.1 Resultados de Quantificação para *Threshold* – *NMS*=0,30

As avaliações realizadas nesse subtópico foram realizadas com *Threshold* -*NMS* fixo em 0,30 e variando *Threshold* em 0,10; 0,15; 0,20 e 0,25. Na Tabela 11 há o resumo da primeira simulação, na qual é avaliado o primeiro valor do *Threshold*=0,10.



Tabela 11: Quantificação para Threshold=0,10 e Threshold — NMS=0,30 (VR — valor real contado pela engenheira, VC — valor calculado pelo algoritmo)

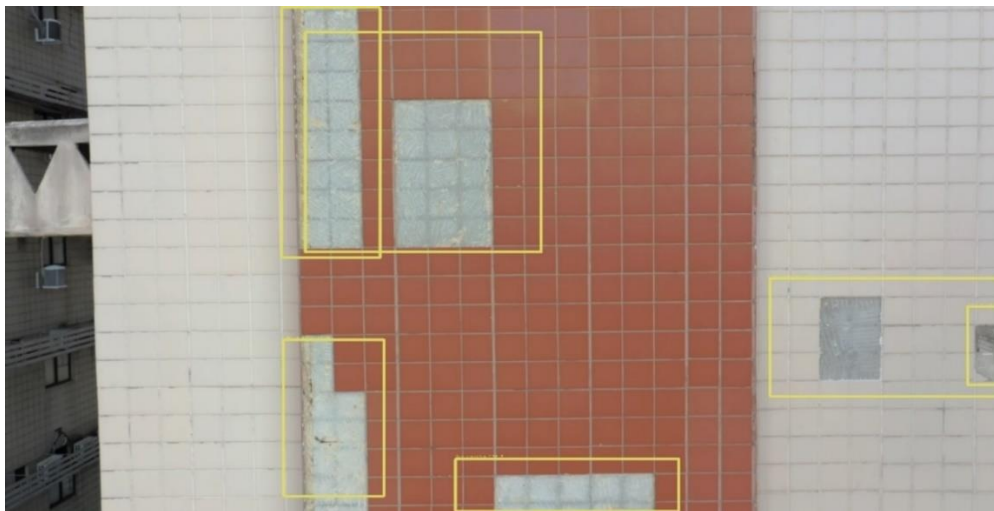
<i>Imagem</i>	<i>VR</i>	<i>VC</i>	<i>Erro</i>	<i>Imagem</i>	<i>VR</i>	<i>VC</i>	<i>Erro</i>
1	2	2	0	28	29	27	-2
2	8	13	5	29	28	34	6
3	28	27	-1	30	12	15	3
4	39	44	5	31	38	40	2
5	59	59	0	32	64	55	-9
6	75	81	6	33	24	21	-3
7	29	28	-1	34	42	40	-2
8	47	37	-10	35	60	52	-8
9	37	38	1	<b>36</b>	<b>34</b>	<b>59</b>	<b>25</b>
10	50	56	6	37	66	76	10
11	31	22	-9	38	57	65	8
12	24	22	-2	39	34	38	4
13	13	14	1	40	12	11	-1
14	65	75	10	41	10	4	-6
15	28	18	-10	42	103	98	-5
16	68	71	3	43	104	97	-7
<b>17</b>	<b>61</b>	<b>88</b>	<b>27</b>	44	98	99	1
18	51	51	0	45	23	19	-4
19	50	51	1	46	62	70	8
20	48	47	-1	47	81	92	11
21	40	32	-8	48	77	82	5
22	29	26	-3	49	50	46	-4
23	39	45	6	50	57	63	6
24	33	38	5	51	42	44	2
25	33	35	2	52	27	28	1
26	4	7	3	53	29	35	6
27	11	8	-3	<b>TOTAL</b>	<b>2265</b>	<b>2345</b>	<b>80</b>

Fonte: a autora (2022)

Na Tabela 11, dois fatos chamam atenção. O primeiro são os valores dos erros positivos que, excluindo os dois extremos 25 e 27, compensam os negativos de tal forma que, no total, chega-se ao valor de menos de uma cerâmica por foto.

A segunda observação a ser feita é sobre os valores “críticos” de erro encontrados nas imagens 17 e 36. A fim de compreender o motivo pelo qual se alcançaram erros dessa magnitude, resolveu-se notar como ocorreu a identificação de deslocamento nessas cerâmicas de acordo com as Figuras 42 e 43.

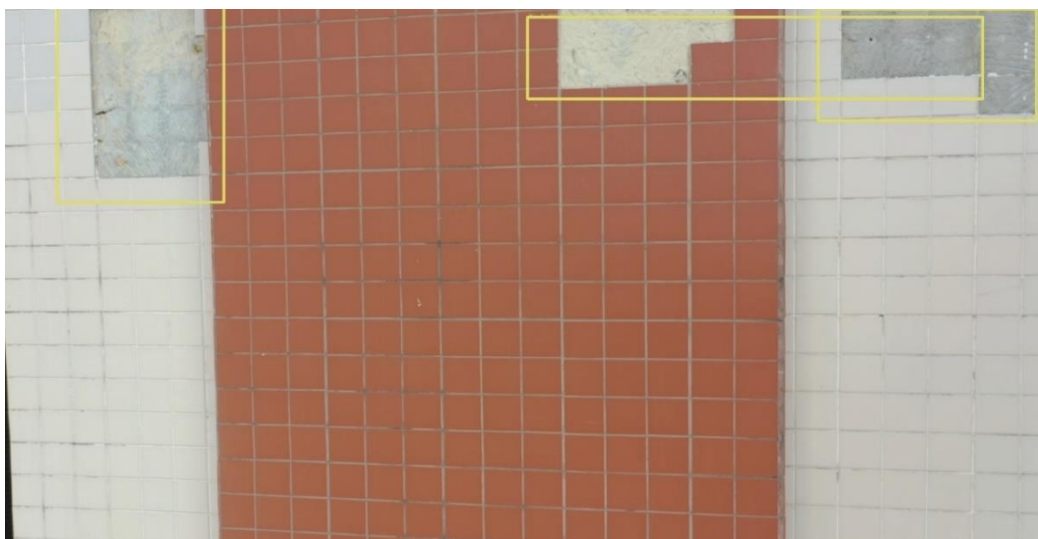
Figura 42: Resultado de identificação na imagem 17



Fonte: a autora (2022)

Observando a Figura 42, percebe-se que em duas regiões existem interseções das caixas delimitadoras. Esse fato faz com que a região com deslocamento pertencente a interseção seja contada duas vezes, o que explica o valor de erro elevado. A mesma observação aqui mencionada pode ser aplicada a imagem 36 apresentada na Figura 43.

Figura 43: Resultado de identificação na imagem 36



Fonte: a autora (2022)

O parâmetro que está relacionado às interseções das caixas delimitadoras é o *Threshold — NMS*. Para constatar a relação entre *Threshold-NMS* e os altos valores de erros, serão apresentadas mais duas Tabelas, uma com o valor fixo e outra com a redução desse

quantitativo. Na Tabela 12, modificou-se o valor de *Threshold* para 0,15, permanecendo com *Threshold* — *NMS*=0,30.

Tabela 12: Resultados de quantificação para *Threshold*=0,15 e *Threshold* — *NMS*=0,30 (VR-valor real contado pela engenheira, VC — valor calculado pelo algoritmo)

<i>Imagem</i>	<i>VR</i>	<i>VC</i>	<i>Erro</i>	<i>Imagem</i>	<i>VR</i>	<i>VC</i>	<i>Erro</i>
1	2	2	0	28	29	27	-2
2	8	13	5	29	28	32	4
3	28	27	-1	30	12	15	3
4	39	44	5	31	38	40	2
5	59	59	0	32	64	55	-9
6	75	81	6	33	24	21	-3
7	29	28	-1	34	42	40	-2
8	47	37	-10	35	60	52	-8
9	37	38	1	<b>36</b>	<b>34</b>	<b>59</b>	<b>25</b>
10	50	56	6	37	66	76	10
11	31	23	-8	38	57	65	8
12	24	22	-2	39	34	38	4
13	13	14	1	40	12	11	-1
14	65	75	10	41	10	4	-6
15	28	18	-10	42	103	98	-5
16	68	71	3	43	104	97	-7
<b>17</b>	<b>61</b>	<b>87</b>	<b>26</b>	44	98	99	1
18	51	52	1	45	23	19	-4
19	50	51	1	46	62	70	8
20	48	47	-1	47	81	92	11
21	40	32	-8	48	77	83	6
22	29	26	-3	49	50	46	-4
23	39	45	6	50	57	63	6
24	33	38	5	51	42	44	2
25	33	35	2	52	27	28	1
26	4	7	3	53	29	35	6
27	11	8	-3	<b>TOTAL</b>	<b>2265</b>	<b>2345</b>	<b>80</b>

Fonte: a autora (2022)

O problema da existência de elevados erros na “contagem” do número de cerâmica permaneceu quando se modificou o valor do *Threshold* de 0,10 para 0,15. Esse mesmo problema continua caso seja aumentado ainda mais o valor desse parâmetro, ou seja, passe de 0,15 para 0,20, o que se confirma observando a Tabela 13.

Tabela 13: Resultados de quantificação para  $Threshold=0,20$  e  $Threshold — NMS=0,30$  (VR — valor real contado pela engenheira, VC — valor calculado pelo algoritmo)

<i>Imagem</i>	<i>VR</i>	<i>VC</i>	<i>Erro</i>	<i>Imagem</i>	<i>VR</i>	<i>VC</i>	<i>Erro</i>
1	2	2	0	28	29	27	-2
2	8	13	5	29	28	31	3
3	28	27	-1	30	12	15	3
4	39	43	4	31	38	40	2
5	59	59	0	32	64	55	-9
6	75	81	6	33	24	21	-3
7	29	28	-1	34	42	40	-2
8	47	37	-10	35	60	52	-8
9	37	38	1	<b>36</b>	<b>34</b>	<b>59</b>	<b>25</b>
10	50	56	6	37	66	76	10
11	31	22	-9	38	57	65	8
12	24	22	-2	39	34	38	4
13	13	14	1	40	12	11	-1
14	65	75	10	41	10	4	-6
15	28	18	-10	42	103	98	-5
16	68	71	3	43	104	97	-7
<b>17</b>	<b>61</b>	<b>88</b>	<b>27</b>	44	98	99	1
18	51	52	1	45	23	19	-4
19	50	51	1	46	62	70	8
20	48	47	-1	47	81	92	11
21	40	32	-8	48	77	82	5
22	29	26	-3	49	50	46	-4
23	39	45	6	50	57	63	6
24	33	38	5	51	42	44	2
25	33	35	2	52	27	28	1
26	4	7	3	53	29	35	6
27	11	8	-3	<b>TOTAL</b>	<b>2265</b>	<b>2342</b>	<b>77</b>

Fonte: autora (2022)

A metodologia proposta se mostra sensível a erros de detecção de áreas com deslocamento cerâmico, pois tais erros implicam diretamente os resultados de contagem. Para analisar melhor essa situação, outras simulações são apresentadas a seguir.

### 5.2.2 Resultados de Quantificação para $Threshold — NMS=0,20$

A análise do artefato apresentada nessa seção é realizada fixando  $Threshold — NMS$  em 0,20 e variando  $Threshold$  nos valores 0,10; 0,15 e 0,20. Considerando os valores de 0,10 e 0,20 para o  $Threshold$  e  $Threshold — NMS$  respectivamente, foram obtidas as quantidades de cerâmicas faltantes e de erro (Tabela 14).

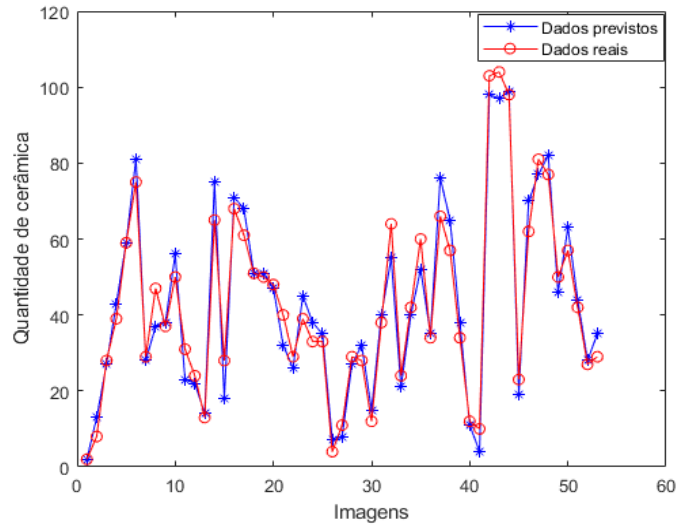
Tabela 14: Resultados obtidos para Threshold=0,10 e Threshold — NMS=0,20 (VR — valor real contado pela engenheira, VC — valor calculado pelo algoritmo)

<i>Imagem</i>	<i>VR</i>	<i>VC</i>	<i>Erro</i>	<i>Imagem</i>	<i>VR</i>	<i>VC</i>	<i>Erro</i>
1	2	2	0	28	29	27	-2
2	8	13	5	29	28	32	4
3	28	27	-1	30	12	15	3
4	39	43	4	31	38	40	2
5	59	59	0	32	64	55	-9
6	75	81	6	33	24	21	-3
7	29	28	-1	34	42	40	-2
8	47	37	-10	35	60	52	-8
9	37	38	1	<b>36</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>1</b>
10	50	56	6	37	66	76	10
11	31	23	-8	38	57	65	8
12	24	22	-2	39	34	38	4
13	13	14	1	40	12	11	-1
14	65	75	10	41	10	4	-6
15	28	18	-10	42	103	98	-5
16	68	71	3	43	104	97	-7
<b>17</b>	<b>61</b>	<b>68</b>	<b>7</b>	44	98	99	1
18	51	51	0	45	23	19	-4
19	50	51	1	46	62	70	8
20	48	47	-1	47	81	77	-4
21	40	32	-8	48	77	82	5
22	29	26	-3	49	50	46	-4
23	39	45	6	50	57	63	6
24	33	38	5	51	42	44	2
25	33	35	2	52	27	28	1
26	4	7	3	53	29	35	6
27	11	8	-3	<b>TOTAL</b>	<b>2265</b>	<b>2284</b>	<b>19</b>

Fonte: autora (2022)

Observando os resultados relatados na Tabela 14, percebe-se que a redução do *Threshold — NMS* de 0,30 para 0,20 corrigiu o erro nas imagens 17 e 36. A solução desse problema, como já era esperado, reduziu o erro total para um valor muito baixo (19 cerâmicas) tendo em vista que os erros por excesso compensam os erros por falta. Além da Tabela 14, uma comparação entre os valores reais e os calculados são apresentados na Figura 44.

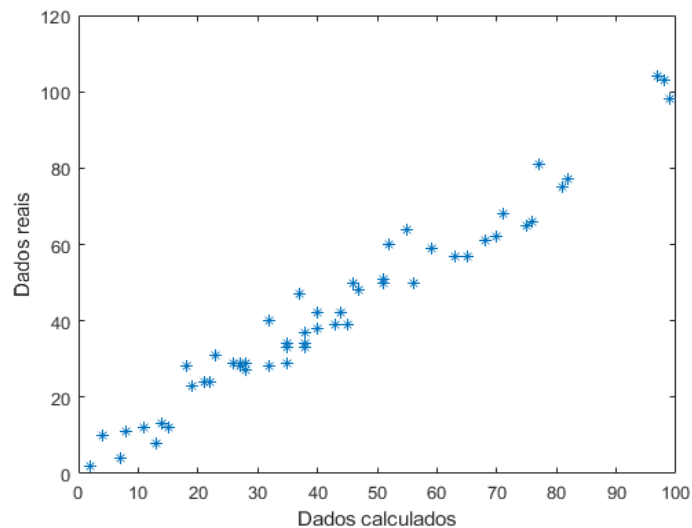
Figura 44: Comparação entre valores reais e calculados



Fonte: autora (2022)

Na Figura 44, percebe-se a proximidade entre valores reais e os computados pelo algoritmo proposto. Além disso, na Figura 45, verifica-se uma relação de alta correlação entre esses dados, a qual em termos numéricos foi medida através do coeficiente de correlação de Pearson e o valor encontrado foi de 0,9786.

Figura 45: Relação entre dados reais e valores calculados



Fonte: autora (2022)

Além dos resultados apresentados na Tabela 14, outros valores foram obtidos variando o valor de *Threshold* em 0,15 e 0,20. A Tabela 15 apresenta os resultados quando o valor de *Threshold* — *NMS* continuou fixado em 0,20 e *Threshold* em 0,15.

Tabela 15: Resultados de quantificação para Threshold=0,15 e Threshold — NMS=0,20 (VR — valor real contado pela engenheira, VC — valor calculado pelo algoritmo).

<i>Imagem</i>	<i>VR</i>	<i>VC</i>	<i>Erro</i>	<i>Imagem</i>	<i>VR</i>	<i>VC</i>	<i>Erro</i>
1	2	2	0	28	29	27	-2
2	8	13	5	29	28	34	6
3	28	27	-1	30	12	15	3
4	39	43	4	31	38	40	2
5	59	59	0	32	64	55	-9
6	75	81	6	33	24	21	-3
7	29	28	-1	34	42	40	-2
8	47	37	-10	35	60	52	-8
9	37	38	1	36	34	35	1
10	50	56	6	37	66	76	10
11	31	23	-8	38	57	65	8
12	24	22	-2	39	34	38	4
13	13	14	1	40	12	11	-1
14	65	75	10	41	10	4	-6
15	28	18	-10	42	103	98	-5
16	68	71	3	43	104	97	-7
17	61	69	8	44	98	100	2
18	51	51	0	45	23	19	-4
19	50	51	1	46	62	70	8
20	48	47	-1	47	81	77	-4
21	40	32	-8	48	77	82	5
22	29	26	-3	49	50	46	-4
23	39	45	6	50	57	63	6
24	33	38	5	51	42	44	2
25	33	35	2	52	27	28	1
26	4	7	3	53	29	35	6
27	11	8	-3	<b>TOTAL</b>	<b>2265</b>	<b>2288</b>	<b>23</b>

Fonte: autora (2022)

Os resultados relatados na Tabela 15 ratificam a correção do erro nas imagens 17 e 36 e o erro global que permaneceu em menos de uma cerâmica por imagem (erro global de 23 cerâmicas em um total de 53 imagens). Permencem válidas as considerações sobre os resultados apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Resultados de quantificação para Threshold=0,20 e Threshold — NMS=0,20 (VR — valor real contado pela engenheira, VC — valor calculado pelo algoritmo)

<i>Imagem</i>	<i>VR</i>	<i>VC</i>	<i>Erro</i>	<i>Imagem</i>	<i>VR</i>	<i>VC</i>	<i>Erro</i>
1	2	2	0	28	29	27	-2
2	8	13	5	29	28	32	4
3	28	27	-1	30	12	15	3
4	39	43	4	31	38	40	2
5	59	59	0	32	64	55	-9
6	75	81	6	33	24	21	-3
7	29	28	-1	34	42	40	-2
8	47	37	-10	35	60	52	-8
9	37	38	1	36	34	35	1
10	50	56	6	37	66	76	10
11	31	22	-9	38	57	65	8
12	24	22	-2	39	34	38	4
13	13	14	1	40	12	11	-1
14	65	75	10	41	10	4	-6
15	28	18	-10	42	103	98	-5
16	68	71	3	43	104	97	-7
17	61	68	7	44	98	99	1
18	51	52	1	45	23	19	-4
19	50	51	1	46	62	70	8
20	48	47	-1	47	81	77	-4
21	40	32	-8	48	77	83	6
22	29	26	-3	49	50	46	-4
23	39	45	6	50	57	63	6
24	33	38	5	51	42	44	2
25	33	35	2	52	27	28	1
26	4	7	3	53	29	35	6
27	11	8	-3	<b>TOTAL</b>	<b>2265</b>	<b>2285</b>	<b>20</b>

Fonte: autora (2022)

Após a análise da eficiência do artefato em identificar e quantificar os dados obtidos pela inspeção com VANT, algumas considerações sobre custo e tempo de execução merecem destaque e estão apresentadas no subtópico a seguir.

### 5.3 Considerações sobre Custo e Tempo de Inspeção

Para fins de comparação, em termos de custo, foi realizada uma pesquisa de mercado na qual foram repassadas à uma empresa especializada, cujo nome foi solicitado sigilo, informações sobre os edifícios e solicitado orçamento de inspeção. Os valores orçados pela empresa para cada edifício estão descritos na Tabela 17 juntamente com os custos de operação do VANT para captura de imagens e vídeos das fachadas. Vale a pena salientar



que a captura de imagens com o VANT foi realizada por meio de trabalho terceirizado do proprietário e perador do mesmo.

Tabela 17: Valores de inspeção tradicional e com auxílio de VANT

<b>Edifício</b>	<b>Valor (empresa)</b>	<b>Valor VANT (setembro 2020)</b>	<b>Valor VANT (atualizado)</b>
A (30 andares)	R\$ 8.741,92	R\$ 450,00	R\$ 540,00
B (13 andares)	R\$ 7.601,67	R\$ 300,00	R\$ 360,00
C (17 andares)	R\$ 7.601,67	R\$ 350,00	R\$ 420,00
D (25 andares)	R\$ 8.741,92	R\$ 400,00	R\$ 480,00

Fonte: autora (2023)

Comparando os valores descritos na Tabela 17, nota-se o elevado custo de se realizar inspeção de maneira tradicional se comparado com a inspeção auxiliada por VANT. É importante lembrar ainda que os dados apresentados na Tabela 17 consideram que o tratamento dos dados de inspeção e geração de planilha é realizada pelo artefato proposto.

A comparação entre a inspeção tradicional e a auxiliada por VANT, proposta nessa pesquisa, ainda não apresenta elementos suficientes para se inferir sobre qual é, financeiramente, mais vantajosa, pois os valores da tabela são referentes a uma inspeção na qual são averiguadas todas as manifestações patológicas, enquanto que o método proposto nessa pesquisa limita-se ao deslocamento cerâmico.

Apesar da comparação apresentada na tabela 17 ainda ser inconclusiva, é importante fazê-la, pois a partir da mesma surge a hipótese, a ser verificada em trabalhos futuros, de que mesmo quando um conjunto maior de manifestação patológicas for averiguado o custo da inspeção com auxílio de VANT e do artefato proposto será menor do que o da inspeção tradicional.

Foi elaborado ainda o registro do tempo de execução das tarefas para a realização de inspeção utilizando VANT foi realizada. Para tal, verificou-se o tempo de coleta das 53 imagens usadas na avaliação do artefato, o tempo necessário para examinar cada imagem e contar visualmente o número de cerâmicas faltantes e o tempo que o artefato levou para realizar a identificação, a quantificação e o planilhamento das informações. A Tabela 18 mostra um resumo desses registros.

Tabela 18: Comparação de tempo para realização das atividades de inspeção com VANT

<b>Atividade</b>	<b>Tempo (min.)</b>
Coleta das imagens da fachada	60
Identificação, quantificação e planilhamento manual realizado por engenheiro	90
Identificação, quantificação e planilhamento automatizado, realizado na nuvem pelo artefato proposto	5

---

Fonte: autora (2023)

Ao se observar a Tabela 18, verifica-se que o tempo empregado pelo artefato para realização da tarefa para a qual foi projetado é 18 vezes menor do que o tempo utilizado pelo engenheiro. Vale ressaltar que a avaliação se limita a apenas ao deslocamento cerâmico, porém as demais manifestações patológicas podem ser, em trabalhos futuros, objetos de treinamento e teste do mesmo artefato para ele se tornar completo. As abordagens sobre conclusões, contribuições e trabalhos futuros estão descritas de forma mais ampla e detalhada no capítulo seguinte.

## 6 CONCLUSÕES, CONTRIBUIÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa apresentada nessa tese teve como objetivo principal a utilização de princípios da Indústria 4.0 para solução de um problema específico da Engenharia Civil e como consequência a proposição de um artefato, caracterizando-a como uma pesquisa fundamentada nos conceitos da *Design Science*. Após a coleta de dados (imagens) e a elaboração e avaliação do artefato, algumas conclusões são citadas. Nesse contexto, seguem nos subtópicos a seguir as principais conclusões, as contribuições e os desafios a serem transpostos.

### 6.1 Conclusões

A condução dessa pesquisa se iniciou com uma revisão sistemática de literatura com a qual foi possível elaborar a pergunta de pesquisa e, conseqüentemente, o método a ser utilizado, além dos objetivos almejados. Após a aplicação do método de pesquisa foram obtidos os resultados apresentados e discutidos nesse texto de tese.

O objetivo principal dessa pesquisa foi alcançado, pois foi desenvolvido um artefato baseado em princípios da Indústria 4.0 e capaz de realizar de maneira automatizada a identificação de áreas com deslocamento do revestimento cerâmico em imagens de fachadas de edifícios, além de alcançar a quantificação de áreas com deslocamento do revestimento cerâmico e o planilhamento dos dados obtidos.

No que diz respeito aos objetivos específicos postos no início do trabalho, pode-se afirmar que todos foram atingidos, pois ao final da pesquisa conseguiu-se:

- a. Construir um banco de imagens utilizando câmera de celular e VANT, com as quais foram realizados o treinamento e o teste da rede convolucional YOLO e dessa maneira, com taxas acima de 90%, realizou-se a identificação de regiões com deslocamento do revestimento cerâmico em fachadas de edifícios;
- b. Apresentar uma formulação matemática e computacional (ver Algoritmos 1 e 2) com erro, em média, menor do que uma cerâmica por foto, calcular a área com ocorrência de deslocamento do revestimento cerâmico (quantificação);
- c. Gerar relatórios em extensão .txt com possibilidade de serem utilizados também em *excel*, contendo a quantificação das áreas com deslocamento do revestimento cerâmico (planilhamento), possibilitando que os mesmos sejam exportados para *softwares* da tecnologia BIM;

- d. Comparar o tempo gasto pelo engenheiro, que foi de aproximadamente 1,5 horas, para realizar a identificação, a quantificação e o planilhamento como o tempo gasto com o método proposto que foi de aproximadamente 5 minutos (ver Tabela 18).

É importante mencionar também que as hipóteses levantadas no início do trabalho foram confirmadas, ou seja, o modelo de visão computacional foi capaz de identificar áreas em fachadas de edifícios que possuem deslocamento do revestimento cerâmico. Logo, foi possível desenvolver um modelo matemático e computacional capaz de determinar a quantidade de cerâmica necessária para realização da manutenção das fachadas e a combinação de um algoritmo de visão computacional com uma metodologia de quantificação de áreas de cerâmicas também foi possível.

## 6.2 Contribuições

Esta tese buscou colaborar com a área de Engenharia Civil ao criar um artefato capaz de realizar a identificação de deslocamento cerâmico em fachadas de edifícios, quantificar a área com cerâmicas deslocadas indicando o número de cerâmicas faltantes e realizar o planilhamento do quantitativo de cerâmicas faltantes.

Como contribuição dessa pesquisa, cita-se ainda o fato de o artefato produzido ser acessível (após disponibilizado) a qualquer pessoa que possua *e-mail* da *Google*, sem a necessidade de instalação de programas externos, deste modo apenas *download* de alguns arquivos.

Apesar de a rede convolucional já ser amplamente utilizada em diversas aplicações, o treinamento da mesma para identificar áreas com deslocamento cerâmico é uma contribuição dessa pesquisa. Além disso, são apresentados na Etapa IV da Fase VI dois algoritmos computacionais que, combinados, conseguem contar automaticamente a quantidade de cerâmicas deslocadas, o que configura mais uma contribuição dessa tese.

O conjunto formado pela trinca identificação, quantificação e planilhamento realizado de maneira computacional contribui para a agilização do processo de inspeção e também pode ser aqui citado como aporte dessa pesquisa.

Elencadas as principais contribuições dessa tese, faz-se necessário lembrar os principais desafios ainda a serem superados. Além dos desafios, vale lembrar que é possível elaborar o melhoramento de alguns resultados apresentados nesse texto. Os desafios e os avanços que ainda podem ser investigados constam descritos no subtópico seguinte.

### 6.3 Trabalhos Futuros

Como prosseguimento dessa pesquisa, algumas tarefas podem ser feitas, como o desafio de treinar a rede YOLO para identificação de diversas manifestações patológicas ao mesmo tempo. Nessa mesma linha de expandir o trabalho, é possível criar algoritmos capazes de calcular automaticamente a área de uma mancha na parede ou calcular a espessura de uma rachadura.

No que tange ao artefato apresentado, tem-se como tarefa a elaboração de uma interface gráfica para facilitar a utilização do mesmo. Além da interface, é admissível ainda preparar o artefato para que o mesmo possa ser utilizado de maneira off-line, dispensando assim a necessidade de um e-mail da *Google*.

Um desafio que instiga a continuidade dessa pesquisa é a identificação e a quantificação do descolamento cerâmico, ou seja, identificar quais cerâmicas estão na eminência de cair para serem evitados possíveis acidentes e deixar o artefato ainda mais completo.

## REFERÊNCIAS

ACQUARONE, L. *et al.* Uso de ferramentas na nuvem aplicadas à metodologia BIM: um estudo de caso. **2o Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção**, 2019.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Processo de Projeto BIM: Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC / Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial**. – Brasília, DF: ABDI, 2017. Vol. 1.

ALHEEJAWI, S. *et al.* Deep learning-based histopathological image analysis for automated detection and staging of melanoma. **In: Deep Learning Techniques for Biomedical and Health Informatics**. Academic Press, 2020. p. 237-265.

ALI-GOMBE, A. *et al.* Face Detection with YOLO on Edge. **In: International Conference on Engineering Applications of Neural Networks**. Springer, Cham, 2021. p. 284-292.

ALIZADEHSALEHI, S. *et al.* The effectiveness of an integrated BIM/UAV model in managing safety on construction sites. **International journal of occupational safety and ergonomics**, v. 26, n. 4, p. 829-844, 2020.

ALVES, I. M. *et al.* **01 Glossário de revestimento cerâmico**. 2011.

ANTUNES, G. R. **Revestimento De Fachada Em Brasília** –. 2010.

ASHOUR, Reem *et al.* Site inspection drone: A solution for inspecting and regulating construction sites. **In: 2016 IEEE 59th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)**. IEEE, 2016. p. 1-4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT-NBR 14992. A.R. - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios**. p. 1–16, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 4 : Sistemas de vedações verticais internas e externas**. p. 57, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674: Manutenção de edificações-Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**, 2012.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO. **Números do Setor Cerâmico**. Disponível em: <<https://anfacer.org.br/numeros-do-setor>>. Acesso em: 8 jun. 2021.

AUTODESK. **Conceitos básicos do Revit**. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/search-result/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/PTB/Revit-GetStarted/files/GUID-03565843-BB48-4707-B54C-39D6E8E51880-htm.html>>.

AYOB, A. F. *et al.* Analysis of pruned neural networks (MobileNetV2-YOLO v2) for underwater object detection. In: **Proceedings of the 11th National Technical Seminar on Unmanned System Technology 2019: NUSYS'19**. Springer Singapore, 2021. p. 87-98.

BALLESTEROS, R. D.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C. Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 1, p. 119–137, 2021.

BARBA-GUAMÁN, Luis *et al.* Object Detection in Rural Roads Through SSD and YOLO Framework. In: **WorldCIST (1)**. 2021. p. 176-185.

BARREIROS, M. DE O. *et al.* Zebrafish tracking using YOLOv2 and Kalman filter. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1–14, 2021.

BARROS, H. E. B. *et al.* Revestimento Cerâmico De Fachada: Estudo Dos Possíveis Agentes De Degradação No Descolamento De Peças Cerâmicas. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 96670–96681, 2020.

BASTIÃO, R. S. **Revestimento cerâmico em fachadas - o contributo do desenho e fabricação digital**. 2019.

BAUER, E.; CASTRO, E. K.; SILVA, M. N. B. Estimate of the facades degradation with ceramic cladding: Study of Brasilia buildings. **Cerâmica**, v. 61, n. 358, p. 151–159, 2015.

BAUER, E.; MILHOMEM, P. M.; AIDAR, L. A. G. Evaluating the damage degree of cracking in facades using infrared thermography. **Journal of Civil Structural Health Monitoring**, v. 8, n. 3, p. 517–528, 2018.

BELLO, S. A. *et al.* Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits and challenges. **Automation in Construction**, v. 122, p. 103441, 2021.

BONTEMPO, I. DE A. B. **Aplicação do Building Information Modeling (BIM) e da Interoperabilidade em Projetos Estruturais**. Universidade católica de Brasília. 2017.

CABRAL, D. H. P. **Uso de Rejeitos do Granito Rain Forest para a Produção de Revestimentos Cerâmicos com Baixa Absorção de Água**. p. 75, 2009.

CARDOSO, J. S.; QUEIROZ, W. D. S. **A utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) como ferramenta na conservação e no monitoramento ambiental da Amazônia Brasileira**. 2018.

CARVALHO, J. R. *et al.* **Avaliação para Intervenção em Revestimento Aderido de Fachada – Estudo de Caso na Cidade do Recife**. p. 1–15, 2010.

CHIRIGAT, F. S. Computação nas Nuvens. **Architecture**, p. 1–6, 2020.

COELHO, A. DE C. C. **A utilização do BIM na análise da eficiência energética de edifícios: ferramentas e interoperabilidade**. p. 82, 2020.

COLABORAÇÃO E INTEGRAÇÃO BIM. **Coletânea implementação do BIM para construtoras e incorporadoras**, v. 3, p. 132, 2016.

CORREIA, L. K-means-net: Clusterização e escolha de gateways em redes de sensores sem fio. **REVISTA CEREUS**, v. 10, n. 2, 2018.

COSTA, A. S. G. **Uso da Plataforma BIM na Inspeção Predial**. 2020.

COSTA, J. M. C.; SERRA, S. M. B. Comparação de processos de levantamento de quantitativos: tradicional e BIM. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC 2014)**, Maceió, 2014.



COSTA, T. T. F.; SOUSA, T. B. ; VASCONCELOS, B. M. Avaliação do uso de uma ferramenta BIM no projeto de infraestrutura de um terminal de granel líquido. **RCT-Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 7, 2021

CYPRIANO, M. G. *et al.* Evaluation of the accelerated degradation of mortar in a ceramic coating facade system. **Materials Science Forum**, v. 912 MSF, p. 65–70, 2018.

DA SILVA, M. D. Aplicação da Ferramenta Google Colaboratory no Ensino de Ciências de Dados. In: **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos**. SBC, 2020. p. 13-22.

DAMACENO, S. S.; VASCONCELOS, R. O. **Inteligência artificial: uma breve abordagem sobre seu conceito real e o conhecimento popular**. p. 11–16, 2018.

DARKO, A. *et al.* Building information modeling (BIM)-based modular integrated construction risk management – Critical survey and future needs. **Computers in Industry**, v. 123, p. 103327, 2020.

DASTGHEIBIFARD, S.; ASNAFI, Mahsa. A review on potential applications of unmanned aerial vehicle for construction industry. **Sustainable Structure and Materials**, v. 1, n. 2, p. 44-53, 2018.

DAVIS, J.; GOADRICH, M. The relationship between Precision-Recall and ROC curves. **In: Proceedings of the 23rd international conference on Machine learning**. 2006. p. 233-240.

DIAS, I. Avaliação da vida útil de revestimentos cerâmicos em fachadas através de inspeção de edifícios. 2015.

DIAS, I. S.; FLORES-COLEN, I.; SILVA, A. Critical analysis about emerging technologies for Building's façade inspection. **Buildings**, v. 11, n. 2, p. 1–19, 2021.

DIAS, P. R. V. **Engenharia de Custos: Estimativa de Custo de Obras e Serviços de Engenharia**. 1º Edição. Rio de Janeiro , 2004.

DING, Z. *et al.* A building information modeling-based carbon emission measurement system for prefabricated residential buildings during the materialization phase. **Journal of Cleaner Production**, v. 264, p. 121728, 2020.

DONDI, M.; RAIMONDO, M.; ZANELLI, C. Resistência ao manchamento de revestimentos cerâmicos. *Cerâmica Industrial*, v. 13, n. 5, p. 39-45, 2008.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Bookman Editora, 2012.

ERDELJ, M.; NATALIZIO, E. UAV-assisted disaster management: Applications and open issues. **In: 2016 international conference on computing, networking and communications (ICNC)**. IEEE, 2016. p. 1-5.

ESHRATIFAR, A. E.; PEDRAM, M. Energy and performance efficient computation offloading for deep neural networks in a mobile cloud computing environment. **Proceedings of the ACM Great Lakes Symposium on VLSI, GLSVLSI**, p. 111–116, 2018.

GALETTO, A.; ANDRELLO, J. M. Patologia em fachadas com revestimentos cerâmicos. **Cipan**, p. 11, 2013.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 23, p. 183-184, 2014.

GOLDBERG, R. P. **Direct Adhered Ceramic Tile, Stone and Thin Brick Facades**. 1967. v. 6

GONZÁLEZ, M. A. S. **Noções de Orçamento e Planejamento de Obras**. São Leopoldo – RS. 2008.

GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. **Deep learning An MIT Press Book**. 2019. v. 29

HENRIQUE, E. S. **Sensibilidade à Degradação das Fachadas- Estudo dos Aspectos Construtivos**. 2010.

HEVNER, A. R. A. Three Cycle View of Design Science Research. **Scandinavian Journal of Information Systems**, v. 19, n. 2, p. 87–92, 2007.

HONÓRIO, L. F. **Inteligência Artificial : Conceitos e Aplicações**. 2010.

HOSANG, J.; BENENSON, R.; SCHIELE, B. Learning non-maximum suppression. In: **Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition**. 2017. p. 4507-4515.

HUBBARD, B. *et al.* Feasibility study of UAV use for RFID material tracking on construction sites. In: **51st ASC Annual international conference proceedings**. 2015. p. 669-676.

IVALE, A; H.; DA SILVA, M. C.; ALENCAR, I. Cenário da publicação científica sobre a Indústria 4.0 no Brasil: Uma revisão bibliométrica. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e10610513838-e10610513838, 2021.

KATTENBORN, T. *et al.* Review on Convolutional Neural Networks (CNN) in vegetation remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 173, p. 24-49, 2021.

KAVUMA, A.; OCK, J.; JANG, H. Factors influencing Time and Cost Overruns on Freeform Construction Projects. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 23, n. 4, p. 1442–1450, 2019.

KERLE, N. *et al.* UAV-based structural damage mapping: A review. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 1, p. 1–23, 2019.

KERN, A. P. **Proposta de um modelo de planejamento e controle de custos de empreendimentos de construção**. Tese de Doutorado, 2005.

KHATCHATOURIAN, O. ; PADILHA, F. R. Reconhecimento de variedades de soja por meio do processamento de imagens digitais usando redes neurais artificiais. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 759-769, 2008.

LACERDA, D. P. *et al.* Design Science Research: A research method to production engineering. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 741–761, 2013.

LARAH, C. F. Análise de fachada com aerolevanteamento VANT. **Engenharia Civil-Pedra Branca**, 2019.

LECUN, Y. *et al.* Gradient-Based Learning Applied to Document Recognition. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 330, n. 4, p. 1299–1305, 1998.

- LECUN, Y.; BENGIO, Y.; HINTON, G. Deep learning. **Nature**, v. 521, n. 7553, p. 436–444, 2015.
- LIMA, S. H. DE O. *et al.* Design Science: Perspectivas Paradigmáticas e Comparações com Estudo de Caso e Pesquisa-Ação. **Anpad.Org.Br**, p. 1–16, 2014.
- LIPMAN, R. R. Details of the mapping between the CIS/2 and IFC product data models for structural steel. **Electronic Journal of Information Technology in Construction**, v. 14, n. December, p. 1–13, 2009.
- LISON, P.; MAVROEIDIS, V. Automatic detection of malware-generated domains with recurrent neural models. **arXiv**, 2017.
- LIU, D. *et al.* Integrating Building Information Model and Augmented Reality for Drone-Based Building Inspection. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 35, n. 2, p. 04020073, 2021.
- LOEY, M. *et al.* Fighting against COVID-19: A novel deep learning model based on YOLO-v2 with ResNet-50 for medical face mask detection. **Sustainable cities and society**, v. 65, p. 102600, 2021.
- LOPES, C. A. S. *et al.* Durabilidade na construção: estimativa da vida útil de revestimentos cerâmicos de fachadas. 2009.
- LUZ, G. **Introdução a Redes Neurais Artificiais – Parte 1**. 2018.
- LUZ, M. DE A. **Manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada em três estudos de caso na cidade de Balneário Camboriú**. p. 172, 2004.
- MASKURIY, R. *et al.* Industry 4.0 for the construction industry: Review of management perspective. **Economies**, v. 7, n. 3, p. 1–14, 2019.
- MATHWORKS. **Getting Started with YOLO v2**, 2020b.
- MCCULLOCH, W. S.; PITTS, W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity (reprinted from bulletin of mathematical biophysics, vol 5, pg 115-133, 1943). **Bulletin of Mathematical Biology**, v. 52, n. 1--2, p. 99–115, 1990.

MELL, P.; GRANCE, T. The NIST-National Institute of Standards and Technology- Definition of Cloud Computing. **NIST Special Publication 800-145**, p. 7, 2011.

MELO JÚNIOR, C. M. et al. Geração de mapas de danos de fachadas de edifícios por processamento digital de imagens capturadas por Vant e uso de fotogrametria digital. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 3, p. 211-226, 2018.

MENDES, L. J. D. B. *et al.* **Estudo do Comportamento Térmico e Absorção de Água em Revestimento Cerâmico, Utilizando na Formulação da Massa: Argila, Quartzo, Feldspato e Resíduos do Beneficiamento do Caulim**. p. 1-5, 2018.

MENEZES, R. R. *et al.* Aspectos fundamentais da expansão por umidade: uma revisão. Parte I: aspectos históricos, causas e correlações. **Cerâmica**, v. 52, n. 321, p. 1-14, 2006.

MIBIELLI, J. G. **Estudo da aderência de revestimentos cerâmicos externos**, 1994.

MILLER, B.; BOGGS J.; PEARCE J. **How to Think like a Data Scientist**. Disponível em: <https://runestone.academy/ns/books/published/httlads/index.html>. Acessado em 22 de dezembro de 2022.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Plano de ação da câmara brasileira da indústria 4.0 do Brasil**. 2019.

MINSKY, M.; PAPER, S. An introduction to computational geometry. **Cambridge tracts in Mathematics**, v. 479, p. 480, 1969.

MIRALDES, J. P. N. D. **Inspeção Técnica de Construções com Recurso a Drones**. Tese de Doutorado, 2020.

MOREIRA, C. A. S.; MARCONDES, C. G. N. Levantamento quantitativo de manifestações patológicas de descolamento e eflorescência em fachadas de edifícios com revestimento cerâmico no bairro batel e imediações em Curitiba. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, v. 4a Edição, n. 4, p. 1-14, 2016.

MOREIRA, J. P.; CARVALHO, L. F. B. S. DE; SILVEIRA, T. DE S. **Serviços para computação em nuvem: vantagens x desvantagens de sua implantação**. 2020.

- MOTAWA, I.; ALMARSHAD, A. A knowledge-based BIM system for building maintenance. **Automation in Construction**, v. 29, p. 173–182, 2013.
- MOTAWA, I.; KARDAKOU, A. Unmanned aerial vehicles (UAVs) for inspection in construction and building industry. **In: The 16th International Operation & Maintenance Conference**, 2018.
- NEWMAN, C. *et al.* Industry 4.0 deployment in the construction industry: a bibliometric literature review and UK-based case study. **Smart and Sustainable Built Environment**, 2020.
- OBSERVATÓRIO DIGITAL DE SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO. **Smartlab de Trabalho Decente (MPT – OIT)**: 2018. Disponível em: <<https://observatoriosst.mpt.mp.br/>>. Acessado em: 10 de outubro de 2022.
- OFFICE OF THE SECRETARY OF DEFENSE. **Unmanned Aircraft Systems Roadmap**, 2005.
- OLIVEIRA, A. A. *et al.* **Inspeção de manifestações patológicas em fachadas utilizando aeronaves remotamente pilotadas**. 2020.
- OLIVEIRA, L. P. **Análise da Legalidade do Emprego de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) na Atividade de Polícia Ostensiva**. p. 131–144, 2015.
- OZTURK, G. B. Interoperability in building information modeling for AECO/FM industry. **Automation in Construction**, v. 113, n. February, p. 103122, 2020.
- PACHECO, C. P.; VIEIRA, G. L. Análise quantitativa e qualitativa da degradação das fachadas com revestimento cerâmico. **Cerâmica**, v. 63, n. 368, p. 432-445, 2017.
- PAN, Y.; ZHANG, L. Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends. **Automation in Construction**, v. 122, n. November 2020, p. 103517, 2021.
- PENUMURU, D. P.; MUTHUSWAMY, S.; KARUMBU, P. Identification and classification of materials using machine vision and machine learning in the context of industry 4.0. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 31, n. 5, p. 1229–1241, 2020.
- PEREIRA, F. C.; PEREIRA, C. E. Embedded image processing systems for automatic recognition of cracks using UAVs. **IFAC-PapersOnLine**, v. 28, n. 10, p. 16–21, 2015.

PEZZATO, Leila Maria. **Patologias no sistema de revestimento cerâmico: um estudo de caso em fachadas**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PIRES, R.; DE BRITO, J.; AMARO, B. Inspection, Diagnosis, and Rehabilitation System of Painted Rendered Façades. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 29, n. 2, p. 04014062, 2015.

PLASTIRAS, G.; KYRKOU, C.; THEOCHARIDES, T. Efficient ConvNet-based Object Detection for Unmanned Aerial Vehicles by Selective Tile Processing. **arXiv**, 2019.

PRASHANTH, B.; MENDU, M. ; THALLAPALLI, R. **WITHDRAWN: Cloud based Machine learning with advanced predictive Analytics using Google Colaboratory**. 2021.

QUARTIZOLIT. **O sistema de revestimento em pisos e paredes**. Disponível em: <https://www.quartzolit.weber/ajuda-e-dicas-para-construir/o-sistema-de-revestimento-em-pisos-e-paredes>. Acessado em 20 de junho de 2021.

REDMON, J.; FARHADI, A. YOLO9000: Better, faster, stronger. **Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017**, v. 2017- Janua, p. 6517–6525, 2017.

ROSENBLATT, F. The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain. **Psychological Review**, v. 65, n. 6, p. 1–23, 1958.

RUIZ, R. D. B. *et al.* Processamento digital de imagens para detecção automática de fissuras em revestimentos cerâmicos de edifícios. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 1, p. 139–147, 2021.

SACKS, R. *et al.* **Manual de BIM-: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores**. Bookman Editora, 2021

SALES, A. D. A.; RUSCHEL, R. BIM no suporte a Avaliação Pós-Ocupação. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 1, n. November 2014, p. 1773–1783, 2014.

SANTOS NETTO, C. J. *et al.* **Análise quantitativa da degradação de fachadas em revestimento cerâmico: estudo de caso em edifícios de Belém–PA**. 2018.

SANTOS, B. P. *et al.* Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 13, 2018.

SANTOS, M. A. **Contabilidade de custos**. Faculdade de Ciências Contábeis; Superintendência de Educação a Distância - Salvador: UFBA, 2018.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PATOLOGIA. **Três mil anos de estudo : a história da patologia**. Disponível em: <<http://www.sbp.org.br/tres-mil-anos-de-estudo-a-historia-da-patologia/>>. Acesso em: 17 jun. 2021.

SILVA, I. N.; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A. Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas-curso prático. **São Paulo: Artliber**, 2010.

SILVA, L. C. P. **Inspeção e Manutenção: Procedimentos, normas e estudos para inspeção, diagnóstico e reforço de estruturas de concreto**. 91ª edição. São Paulo-SP, 2018.

SILVA, M. N. B. **Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada: aplicação ao caso de Brasília/DF**. 2014.

SILVA, M. N. B.; BAUER, E.; CASTRO, E. K. DE. Avaliação da degradação em sistemas de revestimento cerâmico de fachadas de Brasília. **I Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento**, n. April, p. 1–11, 2014.

SILVA, M. N. P. *et al.* Revestimentos Cerâmicos e suas Aplicabilidades. **Ciências exatas e tecnológicas**, v. 2, p. 87–97, 2015.

SILVEIRA, V. **Análise do modelo BIM numa perspectiva do projeto de estruturas**, 2014.

SILVESTRE, J. D.; DE BRITO, J. Ceramic tiling in building façades: Inspection and pathological characterization using an expert system. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 4, p. 1560–1571, 2011.

SINGH, K. K.; SIDDHARTHA, M.; SINGH, A. Diagnosis of coronavirus disease (covid-19) from chest x-ray images using modified xceptionnet. **Romanian Journal of Information Science and Technology**, v. 23, n. 657, p. 91-115, 2020.



SLOSASKI, R. L. S. **Quantificação de Manifestações Patológicas em Fachadas Utilizando Veículo Aéreo Não Tripulado e Software de Mensuração: Comparativo com Método Tradicional**. 2021, Curitiba-PR.

SORDI, J. O. DE; AZEVEDO, M. C.; MEIRLES, M. A. Pesquisa Design Science no Brasil segundo as Publicações em Administração da Informação. **Journal of Information Systems and Technology Management**, v. 12, n. 1, p. 165–186, 2015.

SOUSA, F. **Computação em Nuvem: Conceitos, Tecnologias, Aplicações e Desafios**. 2009.

SOUZA, E. M. DE M. Desafios da indústria 4.0 no contexto brasileiro. **ÂNDÉ : Ciências e Humanidades**, v. 5, n. 1, p. 44–57, 2021.

SREENATH, S. *et al.* Assessment and Use of Unmanned Aerial Vehicle for Civil Structural Health Monitoring. **Procedia Computer Science**, v. 170, p. 656–663, 2020.

SUCCAR, B. **Episode 24: Understanding Model Uses**. Disponível em: <<https://www.bimthinkspace.com/2015/09/episode-24-understanding-model-uses.html>>. Acesso em: 16 set. 2021.

TANG, C. S.; VEELNTURF, L. P. The strategic role of logistics in the industry 4.0 era. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 129, n. July, p. 1–11, 2019.

TONDELO, P. G.; BARTH, F. Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019009, 2019.

TONDELO, P.; BARTH, F. Utilização de VANT nos processos de inspeção de fachadas de um edifício. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 17, n. 1, p. 2845-2852, 2018.

TORMEN, A. F. *et al.* Manifestações Patológicas em Revestimentos Cerâmicos Esmaltados em Ambientes Internos: Análise da Influência dos Processos Construtivos em Alvenaria Convencional e Estrutural. **Cerâmica Industrial**, v. 21, n. 2, p. 26–35, 2016.

WIDROW, B.; HOFF, M. E. Adaptive Switching Circuit. **Technical Report**, v. 1553, 1960.

WU, J.; LEPECH, M. D. Incorporating multi-physics deterioration analysis in building information modeling for life-cycle management of durability performance. **Automation in Construction**, v. 110, n. May 2019, p. 103004, 2020.

ZANGRANDI, Á. G. M. **Identificação De Regiões De Texto Em Jornais Históricos Germano-Brasileiros Utilizando Rede Neural Yolo**. 2019.

## Anexo A



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
 INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
 PPGEC

OFÍCIO SNº/2020

Belém, 17 de agosto de 2020.

Ao Senhor  
 Síndico do Ed. ~~XXXXXXXXXX~~

**Assunto: Autorização para captura de imagens aéreas da fachada do edifício.**

Caro Senhor,

Vimos por meio deste ofício solicitar autorização para capturar imagens da fachada do edifício do qual Vossa Senhoria é síndico. As imagens, caso autorizada a captura, serão adquiridas por meio de um Drone e serão utilizadas exclusivamente para fins de pesquisa acadêmica, como parte integrante do meu trabalho de doutorado que estou desenvolvendo sob a orientação do Professor Dr. Luiz Maurício Furtado Maués, que tem como objetivo analisar as manifestações patológicas das fachadas e a interpretação automática por meio de inteligência artificial. Acrescento que estaremos resguardando assim as seguintes questões:

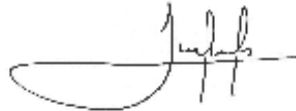
1. As imagens serão utilizadas apenas para teste de um algoritmo computacional que será implementado pelos pesquisadores;
2. Será assegurado o anonimato do vosso condomínio durante todas as fases da pesquisa;
3. Todo trabalho de captura das imagens será custeado pela equipe executora da pesquisa.
4. As fachadas filmadas serão aquelas com "pano sego" ou seja sem a presença de janelas ou sacadas, o que garante o nível de privacidade dos moradores. O ruído emitido pelo drone equivale a a ruído de um liquidificador e coo será realizado em um período curto de tempo, não oferece risco aos moradores.

Ficamos no aguardo do seu retorno.

Atenciosamente,

  
 Alcineide Dutra Pessoa de Sousa

(Pesquisadora – Doutoranda do PPGEC)



Luiz Maurício Furtado Maués  
 (Professor Responsável – Orientador do trabalho)

\_\_\_\_\_  
 Aceite do responsável pelo condomínio

## Anexo B

BRASIL GOV.BR

https://servicos.decea.gov.br/sarpas/?i=AppSec&view=1ab6a2c



Departamento  
de Controle do Espaço Aéreo  
Comissão de Aeronáutica



## SOLICITAÇÃO DE VOO #EA99D1

APROVADO

## Operação

- Solicitante: ~~XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX~~
- Perfil: 3 (Princípio da Sombra / ICA 100-40)
- Tipo/Regra: VLOS/V

## Equipamento

- Nº SISANT:  
PP-030011872

## Localização

- Decolagem  
Lat: -1.4521630531138785  
Lng: -48.48348169076872
- Destino  
Lat: -1.4521630531138785  
Lng: -48.48348169076872
- Área: 26m
- Altura: 300ft

## Piloto

- Nome: Airton Neves de Souza
- Código: NBSC
- CPF: 303.\*\*\*.\*\*\*-91

## Janela de Operação

Data	Início	Fim
13.08.2020	07:00 UTC	18:00 UTC

## Comunicações

- Código de Chamada: RPA-NBSC-72
- ATS: NÃO SE APLICA
- Piloto: NÃO SE APLICA

## RPS (1)

RPS	Lat/Lng	Telefone
Airton Neves de Souza	-1.4521630531138785, -48.48348169076872	(91) 98238-2200