

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TECNOLOGIAS EMPREGADAS NO
MAPEAMENTO DE DANOS EM EMPREENDIMENTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

LUCCA OLIVEIRA SALZANI

JUIZ DE FORA

2024

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TECNOLOGIAS EMPREGADAS NO
MAPEAMENTO DE DANOS EM EMPREENDIMENTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

LUCCA OLIVEIRA SALZANI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Juiz de Fora, como
requisito parcial à obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Construção civil

Orientador: Profa. D.Sc. Maria Teresa Gomes
Barbosa

Juiz de Fora

Faculdade de Engenharia da UFJF

2024


ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TECNOLOGIAS EMPREGADAS NO MAPEAMENTO DE DANOS EM EMPREENDIMENTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

LUCCA OLIVEIRA SALZANI

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora constituída de acordo com a Resolução N° 01/2018 do Colegiado do Curso de Engenharia Civil, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.


Aprovado em: 15/07/2024

Por:

 Documento assinado digitalmente
MARIA TERESA GOMES BARBOSA
Data: 18/07/2024 10:43:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Profa. D.Sc. Maria Teresa Gomes Barbosa (Orientadora)

Universidade Federal de Juiz de Fora

 Documento assinado digitalmente
ANTONIO EDUARDO POLISSENI
Data: 19/07/2024 07:50:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. D.Sc. Antônio Eduardo Polisseni (Examinador 01)

Universidade Federal de Juiz de Fora

 Documento assinado digitalmente
VINICIUS MARTINS GALIL
Data: 18/07/2024 12:33:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

M.Sc. Vinícius Martins Galil (Examinador 02)

Universidade Federal de Juiz de Fora

RESUMO

A inovação tecnológica é o marco do século XXI. A busca por melhores resultados, orçamento acessível, segurança do trabalhador, qualificação técnica juntamente com economia de tempo, garantem o sucesso e evolução das empresas. Na engenharia civil não é diferente. É importante estar atento aos novos recursos disponíveis para não ficar em desvantagem no mercado de trabalho. Portanto, o presente trabalho discorre em forma de uma análise comparativa sobre tecnologias presentes no cenário atual da engenharia civil, em especial para o mapeamento de danos de seus empreendimentos. Visando facilitar o profissional na decisão de escolher o melhor meio de realizar o seu trabalho e garantir os serviços de manutenção das construções. Tais artifícios possuem muitas vantagens, em algumas ocasiões podem ser utilizados de forma combinada. Algumas das principais opções de recursos são: Laser Scanner Terrestre (LST), fotogrametria digital, veículo aéreo não tripulado (VANT), tecnologia de realidade aumentada (RA), realidade virtual (RV) e inteligência artificial (IA). Diante do exposto, o principal objetivo do presente trabalho consiste em efetuar uma análise comparativa entre eficiência, qualidade dos resultados e necessidade de especificação técnica para usuários entre as diversas tecnologias empregadas no mapeamento de danos nas edificações. Para tanto, é efetuada uma revisão bibliográfica sobre as novas tecnologias a serem empregadas no mapeamento dos danos nas edificações, identificando os principais indicadores de análise, os quais sejam: características principais (vantagens e desvantagens), aplicabilidade, custos e qualidade dos dados obtidos. Finalmente, conclui-se que para a obtenção de informações do campo as duas que mais se destacam são o laser scanner e o veículo aéreo não tripulado. Para a análise e estudo de como proceder para solucionar as manifestações patológicas, a tecnologia de realidade aumentada (RA), realidade virtual (RV) e inteligência artificial (IA) possibilitam melhores resultados. Vale ressaltar ainda que as últimas três citadas estão em constante evolução, mostrando um verdadeiro destaque para o futuro.

Palavras-chave: Análise Comparativa; Tecnologias; Mapeamento de Danos; Construção Civil.

ABSTRACT

Technological innovation is the hallmark of the 21st century. The pursuit of better results, affordable budgets, worker safety, technical qualifications, along with time savings, ensures the success and evolution of companies. In civil engineering, it is not different. It is essential to stay aware of new available resources to avoid falling behind in the job market. Therefore, this paper presents a comparative analysis of technologies in the current civil engineering landscape, particularly for damage mapping of projects. This aims to assist professionals in choosing the best method to carry out their work and ensure maintenance services for constructions. These tools offer many advantages and can sometimes be used in combination. Some of the main resource options are: Terrestrial Laser Scanning (TLS), digital photogrammetry, unmanned aerial vehicles (UAVs), augmented reality (AR) and virtual reality (VR) technologies, and artificial intelligence (AI). Given the above, the primary objective of this work is to conduct a comparative analysis of the efficiency, quality of results, and technical specification requirements for users among the various technologies employed in building damage mapping. For this purpose, a literature review on new technologies for damage mapping in buildings is conducted, identifying the main analysis indicators, which are: key characteristics (advantages and disadvantages), applicability, costs, and quality of the data obtained. Finally, it is concluded that for field information acquisition, the two standout technologies are laser scanning and unmanned aerial vehicles. For the analysis and study of how to address pathological manifestations, augmented reality (AR), virtual reality (VR), and artificial intelligence (AI) technologies offer better results. It is worth noting that the latter three are continuously evolving, showing significant promise for the future.

Keywords: Comparative Analysis; Technologies; Damage Mapping; Civil Construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fases da resolução de manifestações patológicas.....	14
Figura 2 – Laser Scanner Terrestre.....	17
Figura 3 – Fotogrametria Digital com uso de um VANT.....	19
Figura 4 – Veículo aéreo não tripulado (VANT).....	21
Figura 5 – Tecnologia de Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV).....	23
Figura 6 – Inteligência Artificial (IA).....	24
Figura 7 – Modelo do túnel gerado com o uso do LST.....	32
Figura 8 – Aquisição e processamento de dados do escaneamento em pilares de pontes.....	32
Figura 9 – Modelo geométrico tridimensional obtido por escaneamento 3D a partir do VANT..	33
Figura 10 – Mapa NDVI gerado pelo VANT.....	34
Figura 11 – Mapa de danos para as fachadas com achados patológicos.....	35
Figura 12 – Diferença na altura do registro.....	36
Figura 13 – Augment, aplicativo de holograma de modelo 3D.....	36
Figura 14 – Inspeção da fachada com drone embarcado com câmera e processamento da imagem com utilização de algoritmo de IA para detecção de anomalias.....	37

LISTA DE TABELAS

Quadro 1 – Comparação das tecnologias para locais inacessíveis.....	26
Quadro 2 – Comparação das tecnologias para patrimônios históricos.....	28
Quadro 3 – Comparação das tecnologias para deformações estruturais em pontes.....	29
Quadro 4 – Comparação das tecnologias para identificação de infiltrações em edificações....	30
Quadro 5 – Comparação das tecnologias para análise de fachadas de prédios.....	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
1.1 JUSTIFICATIVA.....	8
1.2 OBJETIVOS.....	9
1.3 METODOLOGIA.....	10
1.4 ESTRUTURA DE TRABALHO.....	10
2 MAPEAMENTO DE DANOS EM EDIFICAÇÕES.....	12
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	12
2.2 DIAGNÓSTICO DE ANOMALIAS.....	13
2.3 MAPEAMENTO DE DANOS.....	14
2.4 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS PARA MAPEAMENTOS.....	15
2.4.1 LASER SCANNER TERRESTRE (LST).....	16
2.4.2 FOTOGRAMETRIA DIGITAL.....	17
2.4.3 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT).....	19
2.4.4 TECNOLOGIA DE REALIDADE AUMENTADA (RA) E REALIDADE VIRTUAL (RV).....	21
2.4.5 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA).....	23
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
3.1 COMPARAÇÕES REALIZADAS.....	25
3.2 CASOS QUE EMPREGARAM AS TECNOLOGIAS.....	31
3.2.1 LASER SCANNER TERRESTRE (LST).....	31
3.2.2 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) E FOTOGRAMETRIA DIGITAL.....	33
3.2.3 TECNOLOGIA DE REALIDADE AUMENTADA (RA) E REALIDADE VIRTUAL (RV).....	35
3.2.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA).....	37
4 CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo Saad (2017), após a conclusão de um empreendimento é necessário realizar serviços de manutenção preventiva para evitar problemas futuros e manter a qualidade e, conseqüentemente, o padrão da construção. Tal ação é necessária, pois com o tempo é normal sua degradação sendo de suma importância realizar um bom diagnóstico das anomalias. Este último tem que ser feito corretamente, pois identificando o que está acontecendo com a edificação, a manifestação patológica será tratada de maneira adequada, evitando futuros gastos desnecessários.

A tecnologia tem contribuído de forma significativa nos métodos de mapeamento de danos, podendo suprir diversas deficiências no que se refere à investigação das causas das anomalias. A eficiência dos métodos empregados está relacionada a “como” e “quem” os aplica, e por esta razão não há uma tecnologia e nem tão pouco uma metodologia única. Existem diversas tecnologias que permitem investigar de forma mais precisa as falhas nas edificações, bem como, elaborar uma gestão dos serviços de manutenção e conservação (BARBOSA *et al.*, 2021). Algumas dessas tecnologias são:

- a) **Laser Scanner Terrestre (LST):** podem ser definidos como dispositivos de emissão laser, geralmente pulsado, que registra ou grava coordenadas tridimensionais de certa região ou objeto (CINTRA e GONÇALES, 2017). Podendo ser usado para identificar fissuras, deformações e outros danos visíveis.
- b) **Fotogrametria digital:** é uma técnica que permite a reconstituição métrica e morfológica do objeto examinado ainda pouco difundida no Brasil, mas tem despertado o interesse crescente nas entidades governamentais responsáveis pela preservação de prédios e sítios históricos (ÁLVARES, 2009).
- c) **Veículo aéreo não tripulado (VANT):** Segundo Barbosa *et al.* (2022), o emprego desses equipamentos na construção civil é promissor e se faz cada vez mais presente, como visto na literatura, devido às vantagens que as aeronaves agregam ao setor, a saber (FALORCA; LANZINHA, 2018): execução de tarefas em menor tempo, possibilidade de acesso a locais inacessíveis ou onerosos para as técnicas convencionais, maior precisão para as análises e os diagnósticos, segurança aos operadores, maior qualidade e diversidade nos dados gerados – os VANTs podem carregar câmeras para fotografias e filmagens em alta resolução, sistema de geolocalização, dentre outros, o que viabiliza sua aplicabilidade na inspeção e diagnóstico de manifestação patológicas em grandes obras de arte como pontes e barragens, monumentos, edifícios, torres e análogos – possibilitando, também a geração de modelos 3D, o monitoramento de produtividade, etc.
- d) **Tecnologia de Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV):** oferecem oportunidades para gerenciamento aprimorado de projetos, técnicas de campo otimizadas e melhorias no mercado imobiliário. A integração da RV e RA com a construção civil produz experiências imersivas para projetistas, executores e clientes, auxilia na

visualização do imóvel, melhora a comunicação, reduz erros e eleva a qualidade das obras (SANTANA, 2023).

e) **Inteligência Artificial (IA):** é uma coleção de tecnologias que se destacam na extração de insights e padrões de grandes conjuntos de dados. Ela pode usar tais informações para fazer previsões sobre o que impulsiona os resultados. E é possível até aprender a melhorar suas previsões ao longo do tempo. Com a IA na análise pode-se obter mais valor dos dados adquiridos, unificar esses dados e fazer previsões cada vez mais valiosas (ENGINEERING DO BRASIL, 2022).

f) **Termografia:** é uma técnica que utiliza equipamentos sensíveis a radiação infravermelha como termovisores e radiômetros, para traçar o perfil térmico de uma superfície, possibilitando determinar a variação de temperatura de diferentes pontos em um ambiente sem que ocorra a necessidade de ter contato físico, agregando uma maior precisão ao diagnóstico das anomalias de um patrimônio histórico, principalmente em áreas de difícil acesso, por meio de uma abordagem sustentável (LERMA *et al.*, 2014).

Dessa forma, é possível observar que existem muitas opções de como realizar o mapeamento de danos de uma construção civil. Na maioria das vezes, pode ser utilizada mais de uma tecnologia para um mesmo fim. Portanto é de suma importância entender a característica de cada opção, balancear os lados positivos e negativos, como necessidade de especificação técnica para usuários, eficiência e qualidade.

Cada caso é singular, possuindo seus respectivos parâmetros, necessidade de especificação técnica para usuários, eficiência e qualidade. Após realizar essa comparação, o profissional saberá a melhor maneira de realizar a análise e verificar a existência de problemas como fissuras, corrosão da armadura de concreto armado ou infiltrações.

1.2 OBJETIVOS

Como objetivo principal do trabalho destaca-se uma análise comparativa entre eficiência, qualidade dos resultados e necessidade de especificação técnica para usuários entre as diversas tecnologias empregadas no mapeamento de danos nas edificações. Como objetivos secundários consiste na descrição das seguintes técnicas:

- i) Revisão bibliográfica sobre técnicas e procedimentos de diagnóstico de danos em empreendimentos da construção civil;
- ii) Revisão bibliográfica sobre: Laser Scanner Terrestre (LST), fotogrametria digital, veículo aéreo não tripulado (VANT), tecnologia de realidade aumentada (RA), realidade virtual (RV) e inteligência artificial (IA);
- iii) Estudo de suas aplicabilidade das tecnologias propostas no item (ii) e identificação das restrições do emprego de mapeamento de danos de diferentes tipos de empreendimentos da construção civil;

iv) Elaboração de um quadro resumo sobre os procedimentos estudados auxiliando o profissional na tomada de decisão.

1.3 METODOLOGIA

O presente trabalho apresenta-se a metodologia dividida em duas etapas, ambas com caráter exploratório:

1ª Etapa: consiste em uma revisão bibliográfica, em artigos científicos através de sites como Google Acadêmico, EduCapes, Scientific Electronic Library Online – Scielo e Scopus, realizando posteriormente uma análise e comparação de cada aspecto relevante.

2ª Etapa: Elaboração do quadro resumo com as principais características de cada tecnologia através dos exemplos obtidos nos artigos encontrados na etapa anterior, como por exemplo, necessidade de especificação técnica para usuários, confiabilidade das informações obtidas e tempo de coleta de dados.

1.4 ESTRUTURA DE TRABALHO

A estrutura de trabalho do presente documento se apresenta dividida em 5 tópicos principais. O primeiro a introdução, seguido por considerações sobre o mapeamento de danos em edificações de forma geral, posteriormente é falado sobre as tecnologias estudadas, além de realizar uma comparação entre as últimas citadas em situações específicas e por fim a conclusão do trabalho de conclusão de curso.

A introdução é um tópico importante onde o autor apresenta ao leitor o assunto abordado em seu trabalho, onde cada tecnologia foi mencionada rapidamente além do local onde sua aplicação está sendo analisada, o mapeamento de danos em empreendimentos da construção civil.

Após a introdução são iniciados os assuntos específicos do trabalho. O primeiro tópico abordado é o atual cenário do mapeamento de danos em edificações, sua importância na vida útil das construções, e também as principais anomalias encontradas.

Em seguida começa o assunto sobre as tecnologias de laser scanner, fotogrametria digital, veículo aéreo não tripulado (VANT), tecnologia de realidade aumentada (RA), realidade virtual (RV) e inteligência artificial (IA). Tais métodos são analisados separadamente apresentando sua origem, funcionamento, vantagens e desvantagens e exemplos de aplicação na construção civil.

Também é feita uma comparação entre os tópicos do parágrafo anterior, apresentando os cenários mais frequentes no cotidiano de um engenheiro civil ao realizar o mapeamento de danos de um empreendimento. Cada situação é analisada separadamente para estar claro ao leitor quando é melhor adotar cada tecnologia de acordo com seus objetivos.

Por fim é realizada a conclusão deste trabalho, onde é apresentado um breve resumo de todas as informações analisadas na pesquisa com a opinião final do autor sobre o assunto.

2 MAPEAMENTO DE DANOS EM EDIFICAÇÕES

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo o PMI (2017) os projetos variam em tamanho e complexidade, mas ainda assim todos podem ser traduzidos para a estrutura padrão de ciclo de vida a seguir: início, organização e preparação, execução do trabalho e encerramento. Dessa forma, as tecnologias estudadas servem para auxiliar na detecção de manifestações patológicas que podem ocorrer depois da entrega da obra.

Destacado por Costa (2009), *patologia* é o estudo da manifestação dos defeitos em peças, equipamentos ou acabamentos constituintes do edifício, ou a ciência da engenharia que estuda as causas, origens e natureza dos defeitos e falhas que surgem na edificação. Logo, constata-se que o mapeamento de danos em empreendimentos da construção civil é uma área de estudo importante e em constante evolução.

Tinoco (2009) afirma que edificações estão sujeitas a danos devido a vários fatores, como o passar do tempo, decorrente das condições climáticas, ações humanas e ambientais. Esses fatores alteram as características físicas e químicas dos materiais usados na construção, afetando a sua *performance* e sua funcionalidade.

Associado ao exposto, as estruturas de concreto como pontes, vigas, pilares e rodovias estão frequentemente sujeitas a altos níveis de estresse e tensão. A tensão nas estruturas de concreto é causada por contínuo carregamento cíclico, mudanças na temperatura e efeitos do intemperismo, que podem resultar na origem e propagação de fissuras (PALEVICIUS *et al.*, 2022).

Constata-se, que as edificações (prédios, pontes e viadutos) são elementos cruciais para o desenvolvimento das cidades, mas sua eficiência depende de manutenções regulares. Na maioria dos casos, as inspeções dessas estruturas são rudimentares e subjetivas, com inspetores fazendo anotações em papel (PAVI; BORDIN; VERONEZ, 2014).

Dentre as manifestações patológicas mais comumente detectadas nos empreendimentos da construção civil, destacam-se:

- a) **Fissuras:** são as mais comuns ou, pelo menos, mais notórias (SOUZA e RIPPER, 1998). De maneira geral possuem considerável importância visto que, podem comprometer a utilização em serviço e incrementar o desenvolvimento de outras manifestações patológicas nos materiais e componentes das construções, principalmente no concreto e na armadura, através da entrada de agentes agressivos (WOODSON, 2009; DYER, 2014).

- b) Corrosão da armadura de concreto armado:** pode-se definir como sendo um processo resultante da interação de um material com o meio ambiente, acarretando reações de natureza química ou eletroquímica, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas, levando a destruição do material em questão. Nas armaduras em concreto, este problema se manifesta em manchas superficiais, fissuras, destacamento do revestimento de concreto da ferragem e perda de massa das armaduras, resultando em redução na secção de seus componentes (DO NASCIMENTO, 2015).
- c) Infiltração (umidade):** é a penetração de água no empreendimento, favorecida por problemas nos sistemas de vedação, impermeabilização e instalações. Provocam problemas que quando não tratados adequadamente, podem gerar sérios danos às construções, sendo estes, fissuras, corrosão de armaduras, destacamento de revestimentos entre outros (BERTOTTO, 2021).

2.2 DIAGNÓSTICO DE ANOMALIAS

Sem dúvidas, o diagnóstico de anomalias em empreendimentos da construção civil é de suma importância. Para Vicente, Silva e Varum (2005), tais danos podem comprometer a segurança estrutural e o uso dos empreendimentos. Ferreira e Oliveira (2021) ressaltam que as anomalias devem ser diagnosticadas e tratadas para evitar danos futuros, como exemplo, as fissuras se não tratadas podem evoluir para rachaduras.

Afirmado também por Nunes *et al.* (2021), é conhecido que toda estrutura possui uma vida útil, e que passados alguns anos estas se deterioram, muitas vezes sem que seja perceptível aos olhos humanos. Além disso, outros fatores como a negligência e a falta de inspeção e monitoramento nas estruturas dos empreendimentos da construção civil levam-nas à deterioração acelerada e talvez até precoce. Portanto, é crucial identificar e tratar esses problemas para evitar danos estruturais e garantir a segurança para o uso.

Inspeção predial é o processo de avaliação das condições técnicas, de uso, operação, manutenção e funcionalidade da edificação e de seus sistemas e subsistemas construtivos, de forma sistêmica e predominantemente sensorial (na data da vistoria), considerando os requisitos dos usuários (ABNT, 2020).

De acordo com Barros (1997), a investigação acerca do estado de conservação de uma edificação deve conter três macro etapas: levantamento das informações, análise dos danos e definição da conduta.

A primeira etapa é explicada por Vicente, Silva e Varum (2005), é preciso realizar uma inspeção do local, levantando e identificando os materiais, arquitetura, estrutura, construção, suas condições de degradação e principais anomalias. Para a realização de um bom diagnóstico é fundamental saber o histórico do empreendimento.

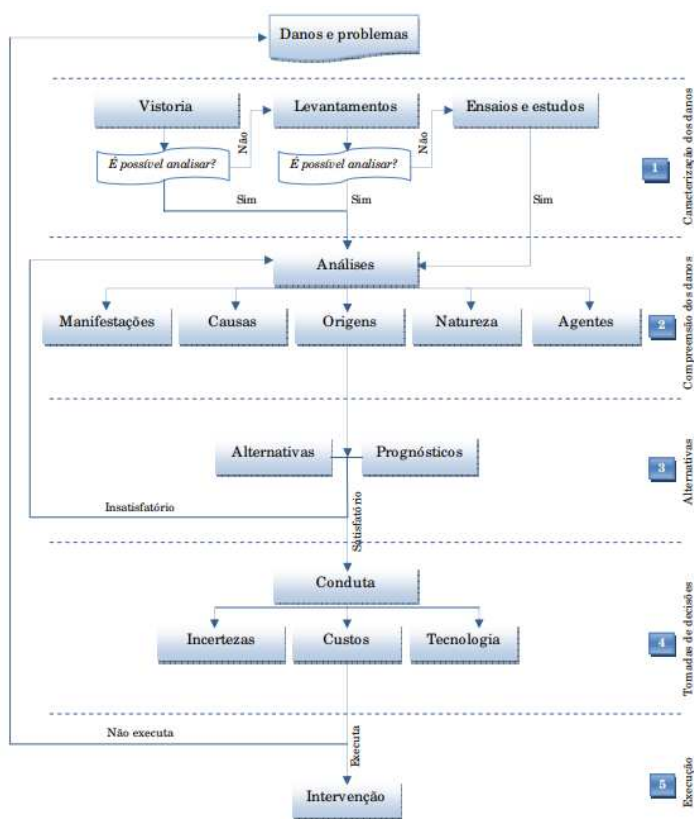
Para a segunda etapa, Barros (1997) define o processo de análise como a formulação de hipóteses efetivas que visam esclarecer as origens, causas, natureza, mecanismos e agentes de ocorrências que estejam promovendo a perda no desempenho de um material ou componente construtivo. Portanto, é a fase mais importante, em que as informações pesquisadas são reunidas e avaliadas em conjunto.

O último passo envolve a terapia (isto é, elaboração de procedimentos corretivos) para corrigir os prejuízos na construção, apoiadas em teorias e levando em conta a incerteza das soluções, a análise de custo-eficácia e a acessibilidade da tecnologia necessária para a implementação.

2.3 MAPEAMENTO DE DANOS

Tinoco (2009) destaca que um mapeamento de danos de uma edificação para ser confiável, ou seja, com precisão, exige como condição básica o conhecimento e a compreensão sobre seu estado de conservação. A Figura 1 facilita o processo de compreensão.

Figura 1 – Fases da resolução de manifestações patológicas



Fonte: Tinoco (2009)

Tinoco (2009) também ressalta que para se saber sobre o estado de conservação de uma edificação podem ser feitas utilizando-se três métodos: direto, indireto e misto.

O primeiro se trata de técnicas através do contato e manipulação direta sobre o empreendimento estudado, podendo se utilizar ações de fragmentação ou destruição de parte dos elementos com manifestações de danos. De certa maneira, as informações obtidas proporcionam uma rápida e eficiente análise das causas e origens das deteriorações.

A utilização desse método, com ações invasivas e destrutivas, deve ser realizada com grande cuidado em razão de perdas nos elementos construtivos que muitas vezes são indicadores da autenticidade de uma edificação. Dessa forma, as técnicas destrutivas ficaram anacrônicas a partir da evolução dos conceitos de intervenções mínimas e, principalmente, da apropriação pelos restauradores das tecnologias de última geração em equipamentos, ferramentas e procedimentos.

No método indireto, as investigações são realizadas de forma analítica por meio da interpretação de diversos tipos de documentos escritos, gráficos, iconográficos e testemunhos orais, além do uso de tecnologias e instrumentos especiais. Trata-se de um conjunto de ações não-destrutivas que se baseiam na interpretação de dados para formular hipóteses e tirar conclusões.

No método misto, a investigação utiliza recursos e tecnologias não destrutivas para garantir a mínima interferência nos elementos construtivos. Esse método busca equilibrar a necessidade de aprofundar as investigações com a capacidade de investir em tecnologias avançadas. Ações exploratórias invasivas e minimalistas só devem ser realizadas quando houver garantia de recursos suficientes para a execução completa do empreendimento.

De forma geral, a avaliação a ser feita em uma estrutura pode ser apenas visual, que é o método mais comum de inspeção, ou com auxílio de ensaios, de preferência não destrutivos, pois estes danificam menos ou até mesmo não danificam as estruturas e permitem que novos ensaios sejam feitos no mesmo lugar ou próximo a este, possibilitando o monitoramento das alterações da estrutura com o passar do tempo (NEVILLE, 2016).

2.4 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS PARA MAPEAMENTOS

No contexto da “Indústria 4.0”, a arquitetura e a engenharia estão passando por uma mudança significativa em relação às práticas convencionais de mão-de-obra intensiva rumo à digitalização e à inteligência. O rápido desenvolvimento e aplicação da tecnologia da informação estão provocando mudanças sem precedentes na indústria da construção (WU; YUAN; TANG; TIAN, 2022). Sendo assim, novas tecnologias vêm ganhando mercado de forma a auxiliar, com maior precisão, o diagnóstico de anomalias nos empreendimentos e permitir uma melhor gestão dos serviços a serem efetuados.

2.4.1 LASER SCANNER TERRESTRE (LST)

Gonçales (2007) menciona que a possibilidade de criação de lasers foi prevista teoricamente por Albert Einstein em meados de 1917, através do estímulo de um corpo a liberar energia em forma de radiação eletromagnética com características uniformes e consistentes. Porém, devido às condições técnicas existentes, o primeiro laser funcional com três transições de nível de energia foi criado por Maiman (1960).

No entanto, foi somente na década de 1990 que os primeiros lasers scanner apareceram no mercado. Posteriormente, impulsionado pelos avanços técnicos em óptica, sensores, eletrônicos e computadores, melhorias significativas no desempenho dos scanners, como no que diz respeito à velocidade, precisão e peso, foram observadas nas três décadas seguintes (WU; YUAN; TANG; TIAN, 2022).

Segundo a empresa Tecnosat (2021) esse método fornece informações imediatas, uma vez que as varreduras podem ser executadas e acessadas imediatamente, melhorando as operações, otimizando a produtividade e reduzindo o retrabalho. Também diminui os custos devido à sua velocidade - muito mais rápida do que os métodos convencionais de mapeamento de projetos. As análises podem ser concluídas em minutos, o que é muito mais rápido do que os métodos convencionais, muitos dos quais podem levar horas ou até semanas. Por fim, promove a redução do trabalho manual, geralmente monótono, com grande possibilidade de erro. A digitalização a laser é mais eficaz e possibilita garantir maior precisão.

Gonçales (2007) menciona alguns pontos de atenção:

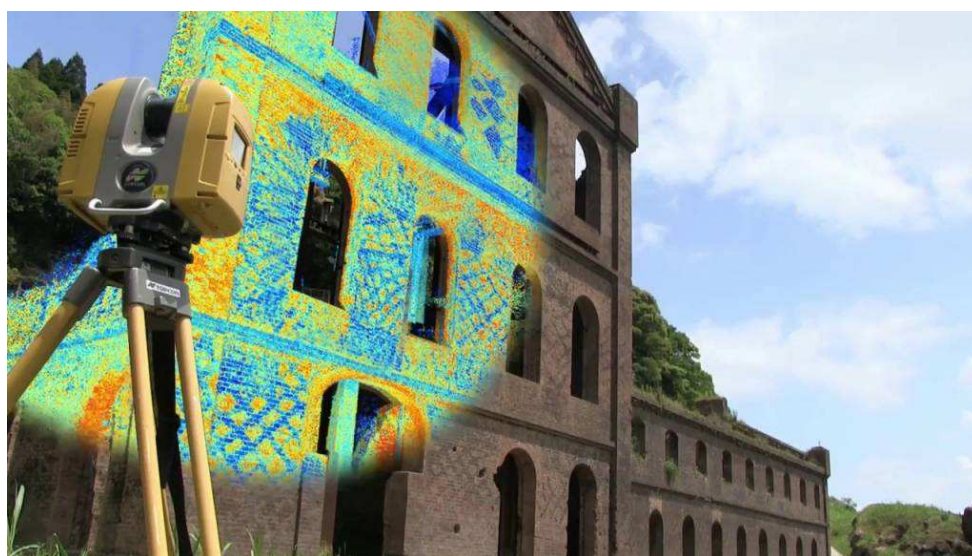
- Alguns lasers se expostos diretamente ou indiretamente à vista humana podem causar danos;
- O manuseio ao se realizar um levantamento com mais de uma estação deve ser realizado com cuidado, para que os alvos não sejam posicionados em campo equidistantes entre si e na mesma altura, pois isso produz correlação e pode degradar o resultado do registro de dados;
- Definição precisa do número de estações e, conseqüentemente, dias necessários para realizar o levantamento;
- Definir as funções da equipe de campo envolvida;
- Estimar a densidade (grid) com que será coletada a nuvem de pontos;
- Verificar a necessidade de utilizar, como complemento, métodos topográficos convencionais (estação total ou GPS);
- Definir o sistema de coordenadas.

O uso do Laser Scanner Terrestre (LST) foi investigado na área de Sensoriamento Remoto aplicado à Engenharia Civil. O LST permite detectar alterações dimensionais, deformações, eflorescências, fissuração, umidade e biodeterioração dos materiais e componentes empregados nos empreendimentos. Além disso, ele permite inspecionar partes inacessíveis ao

inspetor e armazena informações em nuvens de pontos 3D ou imagens, permitindo escolher a técnica de reparo adequada (PAVI; BORDIN; VERONEZ, 2014).

Em complemento, Tommaselli (2003), cita as características mencionadas anteriormente e a facilidade operacional, já que necessita de uma equipe de campo pequena; não necessidade de aproximação de objetos delicados como espeleotemas, que são depósitos cristalinos gerados no interior das cavidades, por precipitação de minerais a partir de soluções aquosas (AULER; ZOGBI, 2011; WHITE, 1976), diminuindo o risco de danos ao patrimônio. Pelo fato do LST ser um sensor ativo, não necessita de luz para gerar a nuvem de pontos. Na Figura 2, pode-se ver um exemplo do uso do Laser Scanner Terrestre.

Figura 2 – Laser Scanner Terrestre



Fonte: Embratop (2019)

2.4.2 FOTOGRAMETRIA DIGITAL

Originalmente, na década de 1980, esta técnica foi desenvolvida para aplicações em sensoriamento remoto, mas, já em 2000, dentre os cem trabalhos apresentados no congresso IAPRS - *International Association of Photogrammetry and Remote Sensing* - realizado em Amsterdam, Holanda, vinte e três se dedicaram à documentação e registro de bens tombados (ÁLVARES, 2009).

A fotogrametria teve como grande inovação a utilização de imagens digitais como fonte primária de dados. A imagem digital pode ser adquirida diretamente de uma câmara digital, ou mesmo através da digitalização matricial de uma imagem analógica, submetendo-a a um scanner. Nos anos 90, esse ramo da fotogrametria realmente pôde ser usado de maneira extensiva, graças ao desenvolvimento de computadores com capacidade suficiente para o processamento interativo de imagens digitais, gerando elevados volumes de dados (COELHO e BRITO, 2007).

Segundo Dalmolin (2018), tal tecnologia tem como propósito a reconstrução de um espaço tridimensional, a partir de um conjunto de imagens bidimensionais provenientes da gravação de padrões de ondas eletromagnéticas, através de sensores ou câmeras fotográficas. É uma ciência aplicada com sucesso, há pelo menos três décadas, e exprime seus resultados na forma de mapas, listas de coordenadas, modelos digitais ou qualquer outro modo de representação geometricamente classificado dentro de tolerâncias e critérios de precisão e acurácia. Resumidamente, a fotogrametria digital tem como objetivo principal a reconstrução automática do espaço tridimensional (espaço-objeto), a partir de imagens bidimensionais (espaço-imagem) (COELHO e BRITO, 2007).

As vantagens destacadas por Álvares (2009) em relação a outras técnicas são:

- Baixo tempo exigido para a realização do trabalho de levantamento;
- Baixo custo de execução;
- Possibilidade da imediata utilização do produto final;
- Grande variedade das informações obtidas;
- Facilidade de acesso a qualquer parte da obra a ser levantada;
- Precisão do levantamento.

Pontos de atenção que também são destacados por Álvares (2009):

- Distância focal da câmera;
- Distância da câmera para o objeto (quanto mais próximo, mais detalhes são captados);
- Resolução da imagem;
- Sensibilidade do filme (em caso de não se usar câmeras digitais);
- Tempo de exposição.

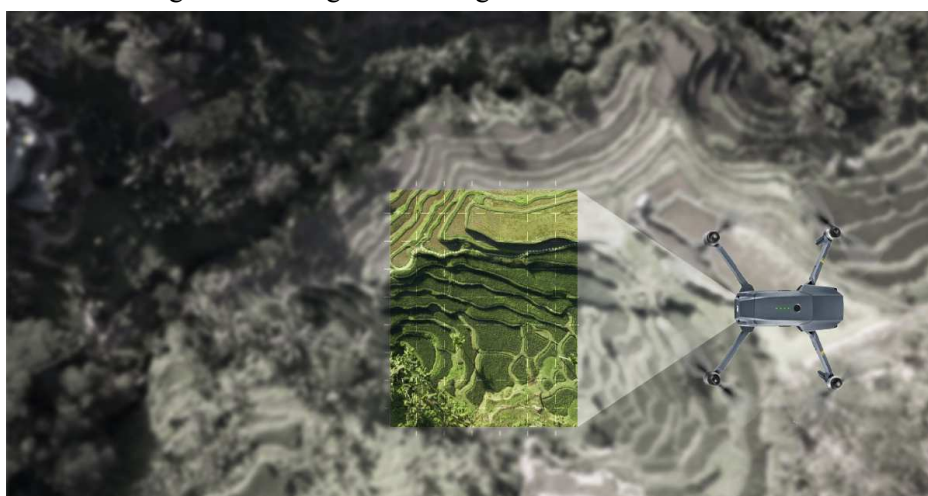
De uma forma geral, comparando as vantagens com pontos de atenção, é possível observar que ao mesmo tempo que o custo é baixo, realizar um pouco mais de investimento como por exemplo treinamento para o responsável pela obtenção das imagens entender o funcionamento da câmera e suas limitações e também assegurar uma tecnologia de boa qualidade para evitar as dificuldades que podem ser encontradas em campo e garantir bons resultados.

A documentação fotográfica desempenha um papel importante na avaliação rápida de problemas construtivos e na definição de uma maneira apropriada para intervenções corretivas (FALORCA, MIRALDES e LANZINHA, 2021). Ela é o meio mais utilizado para mapeamento de danos em empreendimentos da construção civil, uma vez que sempre é recomendado registrar os detalhes da avaliação.

A aerofotogrametria é o método mais utilizado na obtenção de dados da superfície terrestre, justamente por permitir enorme abrangência na cobertura do plano terrestre em suas fotografias, o que torna essa técnica ideal para levantamento e mapeamento de grandes áreas. (COELHO e BRITO, 2007). Os veículos aéreos não tripulados (VANTs) são muito usados no ramo da fotogrametria digital e no próximo tópico será discutido melhor sobre.

Outro exemplo de aplicação na engenharia da fotogrametria digital é através do campo do processamento digital de imagens (PDI) remete-se ao tratamento de imagens digitais por meio de computadores, assim como ao conjunto de técnicas para a manipulação de imagens digitais com o objetivo de facilitar a extração de informações desejadas. O conjunto de imagens obtidas por dispositivos de fotogrametria digital são analisadas para replicar um edifício de forma 3D, dessa forma pode-se ver que a fotogrametria digital é a base da tecnologia de realidade aumentada e virtual (MELO *et al.*, 2018), que também será descrita posteriormente. Na figura 3 é possível observar um exemplo da aerofotogrametria.

Figura 3 – Fotogrametria Digital com uso de um VANT



Fonte: Mappa (2021)

2.4.3 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

O VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) popularmente conhecido como drone foi criado para fins militares, seus modelos eram grandes e robustos. Os modelos com tecnologia mais avançados foram usados de 2008 a 2012 em ataques aéreos por militares Americanos. Existem também os modelos mais compactos e com design diferente que são usados para recreação ou para atividades cinematográficas (LEITE; SANTOS; FIGUEIREDO, 2021).

O Sistema Aéreo Não Tripulado (UAS) é composto por uma estação de controle portátil para operação humana, podendo ser equipado com vários sensores, tais como, câmeras, infravermelho, radar, GPS ou outros dispositivos de comunicação especializados. Dentre os benefícios do uso do VANTs tem-se a capacidade de transferir dados em tempo real entre o VANT e a estação de controle, além de realizar voos mais rápidos, seguros e com um baixo custo quando comparado a aeronaves tripuladas (LISBOA *et al.*, 2018).

Conforme Barbosa *et al.* (2022), a utilização desses dispositivos na indústria da construção civil é uma tendência crescente e promissora. O motivo é por suas vantagens destacadas por Nery, Pimenta e Braga (2021):

- Menor custo de serviço de inspeção;
- Menor risco ocasionado por atividades em altura;

- Melhor controle e qualidade de obras;
- Aproveitamento para fins de marketing;
- Mapeamento e monitoramento de áreas com ótimo custo-benefício.

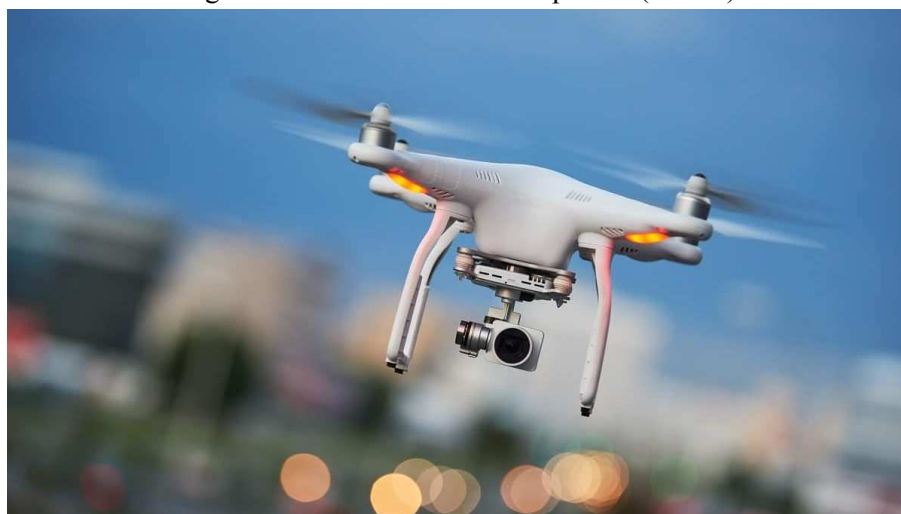
Os VANTs têm limitação em termos de capacidade de carga a bordo e condições climáticas (JORGE e INAMASU, 2014). Vale ressaltar que modelos de drone de melhor qualidade e, conseqüentemente, mais caros, podem aguentar ventos mais fortes e manter sua estabilidade, mas com um certo limite. A habilidade do piloto de identificar o vento e impor força na direção oposta também ajuda a qualidade do voo.

Balaceando os pontos positivos e de atenção, os benefícios se mantêm em destaque para o setor da construção civil. Apontado por Falorca e Lanzinha (2018), incluindo a realização de tarefas em um tempo mais curto, a capacidade de alcançar locais de difícil acesso ou de custo elevado para os métodos tradicionais, maior precisão nas análises e diagnósticos, segurança para os operadores, e a geração de dados de maior qualidade e diversidade.

Para Leite, Santos e Figueiredo (2021), na construção civil, esse dispositivo é visto como complementos e verdadeiros aliados, eles fornecem imagens variadas a partir de diferentes ângulos para relatórios técnicos, no auxílio de levantamento topográfico, mapeamento de áreas, na verificação de danos estruturais, na inspeção de telhados e na questão de marketing e vendas. Além de que os drones com sensor infravermelho fornecem registros que podem ser usados nos softwares CAD ou BIM, e com profissionais qualificados reduzem o tempo de produção de projetos.

Em complemento, Barbosa *et al.* (2021) comentam que os VANTs são capazes de portar câmeras para fotos e vídeos de alta resolução, sistemas de geolocalização, tornando-os úteis para inspeção e diagnóstico de manifestações patológicas em grandes obras de arte, como pontes, barragens, monumentos, edifícios, torres e similares. Além disso, eles também permitem a criação de modelos 3D e o monitoramento da produtividade, entre outros benefícios. Como citado nos tópicos anteriores, o drone trabalha em conjunto com diversas outras tecnologias para que juntos seja possível a obtenção de resultados com melhoria substancial. Na figura 4 é mostrado um veículo aéreo não tripulado.

Figura 4 – Veículo aéreo não tripulado (VANT)



Fonte: Costa (2023)

2.4.4 TECNOLOGIA DE REALIDADE AUMENTADA (RA) E REALIDADE VIRTUAL (RV)

Segundo Tori, Kirner e Siscoutto (2006), na década de 1950, um cineasta concebeu o primeiro dispositivo para imersão sensorial em um mundo virtual tridimensional. Dez anos depois, um engenheiro construiu o primeiro capacete de realidade virtual. Na década de 1980, um profissional que combinava habilidades artísticas e de ciência da computação propôs o termo "realidade virtual", que se consolidou como a denominação da área.

Realidade Virtual (RV) é definida como um ambiente digital gerado computacionalmente que pode ser experienciado de forma interativa como se fosse real (JERALD, 2016).

A diferença fundamental entre a RV e a RA, sendo como os usuários interagem com as tecnologias. Enquanto a RV proporciona uma experiência totalmente imersiva, em que o usuário é transportado para um ambiente gerado por computador com um contato remoto com o mundo real, a RA tem um contato mais físico, em que o usuário interage com elementos virtuais em que são sobrepostos ao mundo real (SILVA e LUCENA, 2023).

Os elementos-chave para a experimentação da Realidade Virtual, ou qualquer realidade, são três: a Imersão, Interação e a Simulação. A Simulação abrange o conceito de Mundo Virtual, representado por uma coleção de objetos no espaço e as regras que os governam (SHERMAN; CRAIG, 2018).

Sobre o primeiro item, a Imersão, a comunidade de RV adotou também o termo "Presença". Esse termo corresponde à característica de poder se sentir presente em algum lugar diferente da sua localização, ou a capacidade de estar ciente do ambiente à nossa volta, através do senso tátil (BOAS, 2013).

Para garantir a autenticidade de um ambiente, de alguma forma ele deve responder às ações dos usuários e possibilitar a mudança dos pontos de vista no mundo virtual. O elemento "Interação", corresponde, então, à capacidade dos usuários de interagir com os objetos, movendo-os e mudando de local (SHERMAN; CRAIG, 2018).

A não padronização dos equipamentos desenvolvidos para operar em RV apresenta-se como empecilho na difusão do uso dessa tecnologia (SANTANA, 2023). Tal fato pode dificultar a troca de informações devido à possibilidade de os aparelhos utilizados por diferentes pessoas não sincronizarem.

Outra questão, destacada por Du *et al.* (2017), em relação ao desenvolvimento da realidade virtual (RV) é a perda de informações sobre outras dimensões não geométricas do Building Information Modeling (BIM), que não são consideradas nas simulações. Elementos como custo, identificação numérica e textual dos objetos, textura dos materiais aplicados, análise de sustentabilidade e outras gestões de planejamento ainda não estão presentes nos softwares de RV ou são apenas parcialmente transferidos, como é o caso das texturas e características físicas dos materiais. Preservar essas informações textuais e ilustrativas é crucial para o desenvolvimento orgânico da obra.

Já a Realidade Aumentada (RA) mantém a percepção do usuário sobre o ambiente real ao compor o mundo real com objetos virtuais em um mesmo espaço 3D, sustentando a ideia ilusória de que os dois ambientes (virtuais e reais) coexistem (BEHZADAN *et al.*, 2015).

Um Sistema de Realidade Aumentada é constituído de cinco componentes principais: computador para renderização e dispositivo misturador (mix) entre as imagens do ambiente virtual e real, um sistema de telas ou Head Mounted Display (HMD), um sistema de rastreamento, sistema de sensores (câmeras) e um dispositivo de entrada ou input adicional (teclado, mouse etc.) (HÖHL, 2009).

Segundo Elshafey *et al.* (2020), a combinação de RA e BIM tem o potencial de criar uma plataforma colaborativa para gerenciar e trocar dados do projeto. Essa plataforma pode ser acessada por vários dispositivos móveis e pode ajudar as partes interessadas na construção a visualizar modelos de informações de construção usando a tecnologia RA. Essa integração pode resultar em uma melhoria na qualidade do trabalho ao longo do processo de construção.

Em arquitetura e construção esta tecnologia pode auxiliar na visualização de formas arquitetônicas, resultados de simulação e análises, fabricação de componentes estruturais ou diretamente na construção, por exemplo, no canteiro de obras (AMIM, 2007).

É possível verificar as crescentes formas de facilitar e dinamizar as atividades dos profissionais nas áreas de construção civil, desde o desenvolvimento dos sistemas CAD e BIM, de softwares que auxiliam nas reproduções de projetos e que melhoram a reprodução e visualização de projetos tridimensionais, como o AutoCAD e Revit da Autodesk (SANTOS, 2023).

Dessa forma é possível utilizar essa técnica para analisar a área e verificar as possibilidades de anomalias na edificação e adotar medidas para a sua prevenção. Em casos de já haver o problema, pode-se replicar a realidade no software que facilitará a forma de estudo, evitando o transporte do profissional, principalmente nas áreas de difícil acesso.

Figura 5 – Tecnologia de Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV)



Fonte: Rocha (2022)

2.4.5 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA)

Segundo Huang e Smith (2006), o termo Inteligência Artificial foi mencionado pela primeira vez por John McCarthy em 1956, quando realizou a primeira conferência sobre o assunto. Desde então foram feitas pesquisas e melhorias na tecnologia, os principais avanços até 2006 consistiram em algoritmos de busca, aprendizado de linguagens de programação e integração da análise estatística na compreensão do mundo em geral.

Um algoritmo de inteligência artificial é composto por uma rede neural artificial (RNA), emulada via software e com funcionamento semelhante ao cérebro humano, no qual cada neurônio armazena uma informação e a transmite para os neurônios adjacentes (SILVA, *et al.* 2017).

Em outras palavras, para Pan e Zhang (2021), como um ramo da ciência da computação, a Inteligência Artificial leva os computadores a detectarem e aprenderem informações como o ser humano para percepção, representação de conhecimento, raciocínio, resolução de problemas e planejamento, que pode lidar com problemas complicados e mal definidos de maneira intencional, inteligente e adaptativa.

Os dois tipos mais comuns de IA no cotidiano são os *chatbots* e as assistentes digitais:

Os *chatbots* são empregados para reconhecer frases e palavras para que possam fornecer o conteúdo mais útil para os consumidores que têm dúvidas comuns. Às vezes, os *chatbots* são precisos e pode parecer que estamos conversando com uma pessoa viva *online*. A título de

exemplo, pode-se afirmar que os *chatbots* podem agendar consultas no cabeleireiro para um cliente pelo uso de IA (HILL; FORD; FARRARAS, 2015).

As assistentes digitais ajudam a tornar a vida mais confortável, assim como a do Google Now, Siri da Apple, Microsoft Cortana e Alexa da Amazon que podem ajudar um usuário a realizar diversas tarefas, como verificar sua agenda, pesquisas na web são feitos para serem customizados junto com o envio de comandos para uma aplicação diferente. A IA é essencial no trabalho e desempenho dos aplicativos, pois eles podem aprender com um único usuário e sua interação (KÖHL; GREMMELS, 2015).

Segundo Sichman (2021) existe uma grande euforia sobre os possíveis benefícios que a IA pode prover e está baseado em 3 fatores:

- O custo de processamento e de memória nunca foi tão barato;
- O surgimento de novos paradigmas, como as redes neurais profundas, possibilitados pelo primeiro fator e produzindo inegáveis avanços científicos;
- Uma grande quantidade de dados está disponível na internet em razão do uso de recursos tais como redes e mídias sociais.

Segundo Palevicius *et al.* (2022), um cuidado que se deve ter é em relação à qualidade da imagem a ser avaliada pela IA, principalmente em relação à presença de sombras que podem influenciar na análise do algoritmo. Afirma também, que apesar disso, essa tecnologia pode ser usada para interpretar imagens obtidas por outros aparelhos, como drones, analisar a presença de fissuras e outros tipos de danos.

Figura 6 – Inteligência Artificial (IA)



Fonte: Magalhães (2023)

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 COMPARAÇÕES REALIZADAS

Após analisar o emprego das tecnologias de laser scanner, fotogrametria digital, veículo aéreo não tripulado (VANT), tecnologia de realidade aumentada (RA), realidade virtual (RV) e inteligência artificial (IA), pode-se concluir que todas possuem vantagens. Muitas vezes mais de um equipamento pode ser usado numa determinada situação e será preciso verificar o orçamento, velocidade, qualidade e necessidade ou não de qualificação técnica para o uso.

Dessa forma serão apresentados quadros resumos, para melhor compreensão do leitor e facilitar a escolha do método para realizar um mapeamento de determinado dano em empreendimentos da construção civil de acordo com algumas situações hipotéticas mais comuns no dia a dia do profissional. Sendo adotadas, didaticamente, as cores vermelho, verde e amarelo, que identificam: limite do procedimento (deficiência), atenção especial para emprego do procedimento e sem restrições, respectivamente.

a) Locais inacessíveis

A vida dos trabalhadores vem sempre em primeiro lugar, por isso ao realizar inspeções em locais inacessíveis é de suma importância prezar pela segurança. As tecnologias foram criadas e estão em constante evolução justamente para esse objetivo.

Áreas com risco de rompimento de barragem, edifícios altos, túneis com risco de desabamento e pontes situadas em áreas de correnteza forte são alguns exemplos de locais inacessíveis que tornam o mapeamento de danos realizado por meios tradicionais um desafio para se garantir a total segurança do trabalhador.

O Laser Scanner garante a segurança, além de cobrir uma vasta área, possuindo bons resultados. É necessário ter um treinamento para o uso do equipamento e garantir a qualidade do mapeamento para a geração de uma boa imagem.

A fotogrametria digital não necessita de treinamento profissional, seu uso é fácil. No que diz respeito à segurança do trabalhador e obtenção de bons resultados existe um problema, para se ter boas informações é preciso estar próximo ao local de interesse de estudo, portanto é recomendado o uso de veículos aéreos não tripulados para que o trabalhador esteja seguro.

Ao decidir utilizar um VANT, como apoio à fotogrametria, é preciso de um treinamento profissional para pilotar o equipamento, estar atento à bateria para que seu retorno esteja garantido (quando a distância entre o drone e o piloto é grande) e garantir fotos de boa qualidade.

As tecnologias de realidade aumentada, realidade virtual e inteligência artificial necessitam de um pré estudo do local antes de serem utilizadas. É necessário realizar um escaneamento do local para que suas características possam ser analisadas, reproduzidas para o meio virtual e então posteriormente obter resultados.

Válido destacar que após a coleta de dados e realização do “mundo virtual”, a tecnologia de realidade virtual possibilita uma interação do profissional com o objeto de estudo que nunca aconteceria na vida real devido à dificuldade ou até mesmo impossibilidade de acesso.

Dessa forma, o laser scanner e veículo aéreo não tripulado são as melhores opções para se obter resultados para o mapeamento de danos de locais inacessíveis. Conforme demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Comparação das tecnologias para locais inacessíveis

Tecnologia	Qualidade dos resultados	Qualificação técnica	Tempo de coleta de dados	Pontos de atenção
Laser Scanner				Causa danos à vista humana, definição precisa de como será realizado o levantamento e possibilidade da necessidade de usar métodos adicionais como estação total ou GPS.
Fotogrametria Digital				Distância focal da câmera, distância da câmera para o objeto, resolução da imagem, sensibilidade do filme e tempo de exposição.
VANT				Capacidade de carga a bordo e condições climáticas
RA e RV				Na RV é necessário mapear e reconstruir o local estudado para a sua aplicação e ocorre perda de informações sobre outras dimensões não geométricas do BIM, enquanto na RA por se tratar de uma tecnologia recente, ainda é pouco difundida e aparelhos como o visor de realidade aumentada pode ter preço elevado.
IA				Mercado de trabalho escasso por se tratar de uma tecnologia recente.

Fonte: O autor

b) Patrimônios históricos

No que se refere ao patrimônio histórico imóvel, um dos condicionantes para a sua conservação e/ou restauro está relacionado às restrições impostas tanto pelo acesso a sua documentação bem como, as técnicas a serem empregadas, demandando cuidados nos processos de investigação e no comportamento dos materiais, já que a idade avançada destes edifícios, as influências decorrentes do intemperismo, as alterações urbanas no seu entorno, dentre outros fatores, afetam as propriedades dos materiais e componentes da edificação (BARBOSA *et al.*,2022). Dessa forma todas as tecnologias pesquisadas neste trabalho se enquadram uma vez que todas são técnicas não destrutivas, indicado no Quadro 2.

O Laser Scanner consegue varrer áreas em pouco tempo com a demanda de uma equipe pequena, obtendo um bom resultado.

A Fotogrametria Digital neste caso consegue ser utilizada sem a necessidade de outros equipamentos, o que reduz os custos, obtendo resultados de forma rápida, mas não é possível captar todos os elementos desejados. Com o uso dos VANTs, é possível captar toda a área desejada, não necessitando de uma equipe como o laser scanner e obtendo os resultados rapidamente.

Com um pouco mais de tempo, é possível utilizar as tecnologias de realidade aumentada, realidade virtual e inteligência artificial. As três possibilitam uma análise completa da edificação, podem criar simulações para testar as hipóteses de correção dos danos apresentados, além de possibilitar a não necessidade de retorno dos profissionais ao local, o que diminui as chances de ocorrer qualquer eventualidade, como algum equipamento cair no chão, proporcionando a preservação do patrimônio.

Portanto, como patrimônios tombados necessitam de uma atenção redobrada em comparação a outros empreendimentos para que suas características originais sejam mantidas, as tecnologias de realidade aumentada, realidade virtual e inteligência artificial se destacam uma vez que possibilitam aos usuários um maior contato com o objeto de estudo sem nenhuma preocupação de danificar o patrimônio histórico.

Quadro 2 – Comparação das tecnologias para patrimônios históricos

Tecnologia	Qualidade dos resultados	Qualificação técnica	Tempo de coleta de dados	Pontos de atenção
Laser Scanner				Causa danos à vista humana, definição precisa de como será realizado o levantamento e possibilidade da necessidade de usar métodos adicionais como estação total ou GPS.
Fotogrametria Digital				Distância focal da câmera, distância da câmera para o objeto, resolução da imagem, sensibilidade do filme e tempo de exposição.
VANT				Capacidade de carga a bordo e condições climáticas.
RA e RV				Na RV é necessário mapear e reconstruir o local estudado para a sua aplicação e ocorre perda de informações sobre outras dimensões não geométricas do BIM, enquanto na RA por se tratar de uma tecnologia recente, ainda é pouco difundida e aparelhos como o visor de realidade aumentada pode ter preço elevado.
IA				Mercado de trabalho escasso por se tratar de uma tecnologia recente.

Fonte: O autor

c) Deformações estruturais em pontes

Esse tópico, apresentado no Quadro 3, pode ser considerado um subitem dentro de locais inacessíveis, uma vez que a maior parte de seus componentes estão em locais perigosos para humanos, com risco de queda. Portanto sua análise é a mesma do item da letra A.

Quadro 3 – Comparação das tecnologias para deformações estruturais em pontes

Tecnologia	Qualidade dos resultados	Qualificação técnica	Tempo de coleta de dados	Pontos de atenção
Laser Scanner				Causa danos à vista humana, definição precisa de como será realizado o levantamento e possibilidade da necessidade de usar métodos adicionais como estação total ou GPS.
Fotogrametria Digital				Distância focal da câmera, distância da câmera para o objeto, resolução da imagem, sensibilidade do filme e tempo de exposição.
VANT				Capacidade de carga a bordo e condições climáticas.
RA e RV				Na RV é necessário mapear e reconstruir o local estudado para a sua aplicação e ocorre perda de informações sobre outras dimensões não geométricas do BIM, enquanto na RA por se tratar de uma tecnologia recente, ainda é pouco difundida e aparelhos como o visor de realidade aumentada pode ter preço elevado.
IA				Mercado de trabalho escasso por se tratar de uma tecnologia recente.

Fonte: O autor

d) Identificação de infiltrações em edificações

Infiltrações são visíveis a olho nu e geralmente encontradas em locais de fácil acesso, portanto, todas as tecnologias podem ser utilizadas, mas a melhor indicada em questão de custo benefício é a fotogrametria digital, como indicado no Quadro 4.

Quadro 4 – Comparação das tecnologias para identificação de infiltrações em edificações

Tecnologia	Qualidade dos resultados	Qualificação técnica	Tempo de coleta de dados	Pontos de atenção
Laser Scanner				Causa danos à vista humana, definição precisa de como será realizado o levantamento e possibilidade da necessidade de usar métodos adicionais como estação total ou GPS.
Fotogrametria Digital				Distância focal da câmera, distância da câmera para o objeto, resolução da imagem, sensibilidade do filme e tempo de exposição.
VANT				Capacidade de carga a bordo e condições climáticas.
RA e RV				Na RV é necessário mapear e reconstruir o local estudado para a sua aplicação e ocorre perda de informações sobre outras dimensões não geométricas do BIM, enquanto na RA por se tratar de uma tecnologia recente, ainda é pouco difundida e aparelhos como o visor de realidade aumentada pode ter preço elevado.
IA				Mercado de trabalho escasso por se tratar de uma tecnologia recente.

Fonte: O autor

e) Fachadas de prédios

Esse tópico, apresentado no Quadro 5, pode ser considerado um subitem dentro de locais inacessíveis, uma vez que a maior parte de seus componentes estão em locais perigosos para humanos, com risco de queda. Uma diferença que vale a pena ser mencionada é a utilização da fotogrametria digital para os pavimentos inferiores e conforme o aumento de altura, é recomendado drones ou laser scanner.

Quadro 5 – Comparação das tecnologias para análise de fachadas de prédios

Tecnologia	Qualidade dos resultados	Qualificação técnica	Tempo de coleta de dados	Pontos de atenção
Laser Scanner				Causa danos à vista humana, definição precisa de como será realizado o levantamento e possibilidade da necessidade de usar métodos adicionais como estação total ou GPS.
Fotogrametria Digital				Distância focal da câmera, distância da câmera para o objeto, resolução da imagem, sensibilidade do filme e tempo de exposição.
VANT				Capacidade de carga a bordo e condições climáticas.
RA e RV				Na RV é necessário mapear e reconstruir o local estudado para a sua aplicação e ocorre perda de informações sobre outras dimensões não geométricas do BIM, enquanto na RA por se tratar de uma tecnologia recente, ainda é pouco difundida e aparelhos como o visor de realidade aumentada pode ter preço elevado.
IA				Mercado de trabalho escasso por se tratar de uma tecnologia recente.

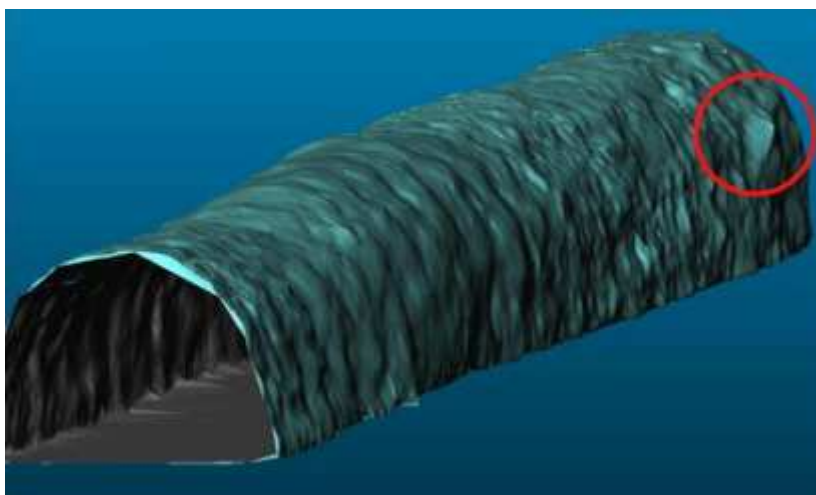
Fonte: O autor

3.2 CASOS QUE EMPREGARAM AS TECNOLOGIAS

3.2.1 LASER SCANNER TERRESTRE (LST)

Cintra e Gonçalves (2017) comprovam a avaliação do método quanto à rapidez e precisão, escanearam um túnel e geraram seu modelo, como mostrado na Figura 7. Nesse tipo de aplicação confirmaram a capacidade de automatizar esse tipo de levantamento, principalmente as etapas de campo e escritório. E, com benefícios adicionais em termos de quantitativos mais precisos.

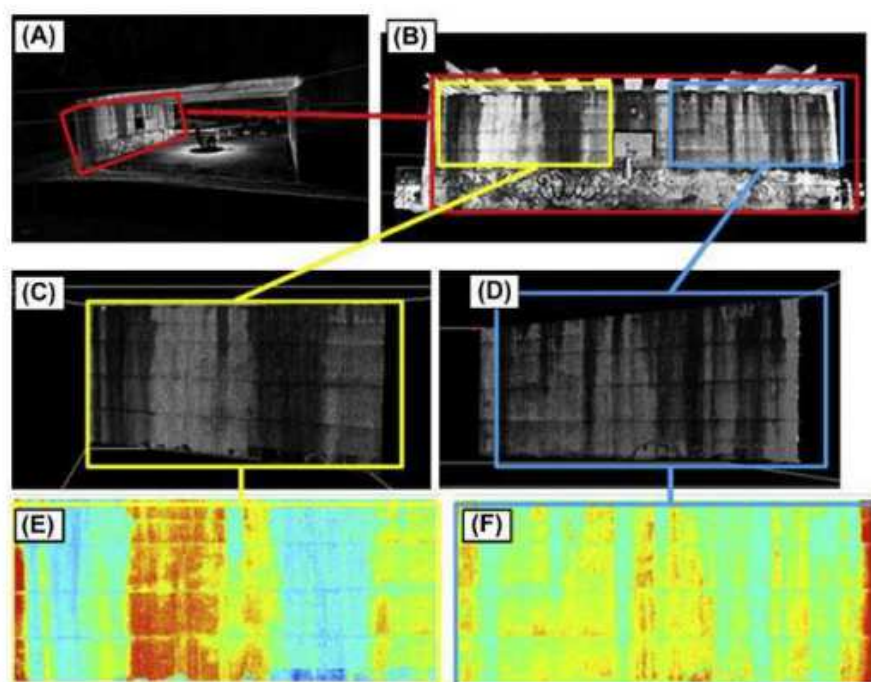
Figura 7 – Modelo do túnel gerado com o uso do LST



Fonte: Cintra e Gonçalves (2017)

González-Jorge et al. (2012) também utilizam os dados de intensidade do LST em seus estudos. Os autores apresentam uma metodologia para detectar a proliferação de musgos em estruturas de concreto armado e comparam diferentes equipamentos Laser Scanner e algoritmos de classificação. A Figura 8 demonstra a aquisição e o processamento de dados do escaneamento. Em (A), observa-se a visão geral de digitalização, em (B), o escaneamento de um pilar, em (C) e (D), a seleção das áreas de estudo e em (E) e (F), a imagem gerada pelos dados de intensidade. A partir do processamento e classificação das imagens geradas pela intensidade do LST, foi possível identificar água, concreto sadio e partes da estrutura acometidas pela biodeterioração.

Figura 8 – Aquisição e processamento de dados do escaneamento em pilares de pontes



Fonte: González-Jorge et al. (2012)

Nos estudos de Pavi, Bordin e Veronez (2014), é feito uma análise de diversas informações levantadas por meio de revisão bibliográfica acerca da utilização do Laser Scanner Terrestre (LST) na detecção de manifestações patológicas no concreto, indicando um grande potencial de utilização do equipamento na identificação de anomalias em pontes e viadutos de concreto armado e protendido. Ressalta-se também que essa técnica pode ser incorporada à atividade de inspeção de OAE's, de modo a complementar a metodologia existente.

3.2.2 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) E FOTOGRAMETRIA DIGITAL

No trabalho de Barbosa *et al.* (2021) foi utilizado o VANT, por meio da fotogrametria para auxiliar no diagnóstico de manifestações patológicas em patrimônio cultural edificado. Esse procedimento permitiu a extração de um modelo geométrico tridimensional e também um mapa NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), mostrado nas Figuras 9 e 10 respectivamente. Nele pode-se verificar a relação entre a edificação e seu entorno, bem como sua topografia, fator que contribui diretamente no surgimento e agravamento das principais manifestações patológicas existentes. Verificando predomínio de vegetação rasteira, com áreas de solo exposto e alguns pontos com vegetação mais densa de qualidade variável entre “regular” a “boa”, não configurando um risco iminente de erosão.

Figura 9 – Modelo geométrico tridimensional obtido por escaneamento 3D a partir do VANT



Fonte: Barbosa et al. (2021)

Figura 10 – Mapa NDVI gerado pelo VANT

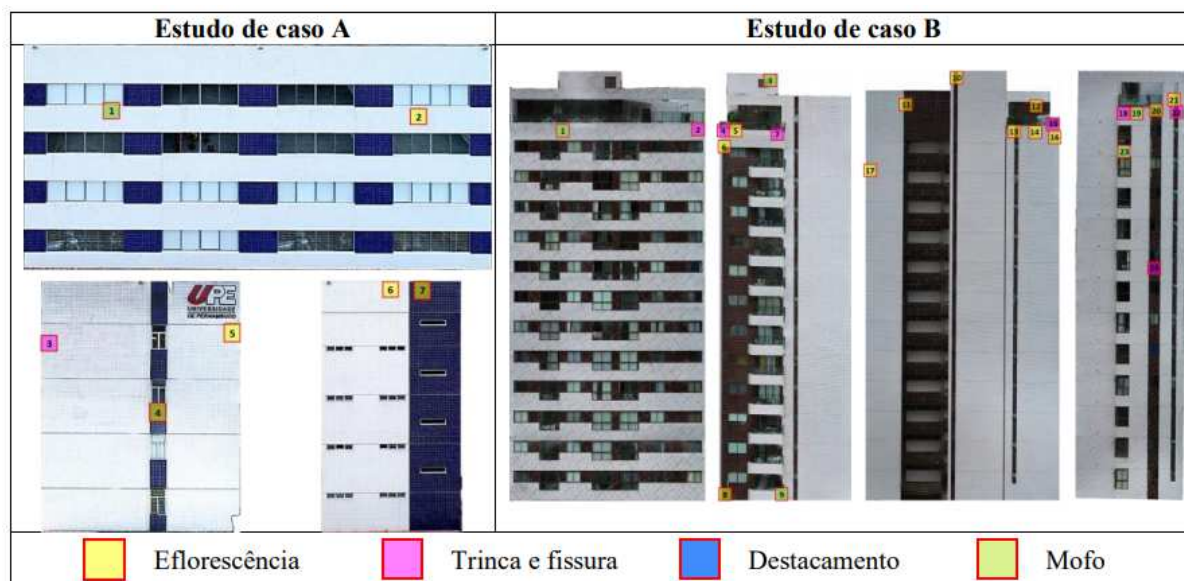


Fonte: Barbosa et al. (2021)

Na conclusão de Barbosa *et al.* é mencionado que os resultados obtidos são satisfatórios, porém, a adoção desta tecnologia na área de conservação e restauro ainda é restrita, e quando ocorre se dá por parte de grandes empresas, o que se deve principalmente ao elevado custo inicial dos equipamentos e a necessidade de mão de obra qualificada para a operação e interpretação dos dados obtidos. Dessa forma, deve-se incentivar o uso desta metodologia para complementar a inspeção visual, tornando-a mais rápida e assertiva.

Em Ballesteros e Lordsleem (2021) é pesquisado a aplicação do VANT para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico. Foi realizado dois estudos de caso, um edifício de mediana altura e outro de grande altura, ambos com revestimento cerâmico de fachada, testando o desempenho do pacote tecnológico composto de VANT, de câmera digital e de software de fotogrametria digital como ferramentas para a inspeção de manifestações patológicas e conclui que o pacote tecnológico foi validado para a inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico, uma vez que os recursos visuais produzidos propiciaram a detecção de diferentes achados patológicos, conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Mapa de danos para as fachadas com achados patológicos



Fonte: Ballesteros e Lordsleem (2021)

3.2.3 TECNOLOGIA DE REALIDADE AUMENTADA (RA) E REALIDADE VIRTUAL (RV)

Nos estudos de Emmerich (2021) sobre a percepção da realidade aumentada como facilitador de entendimento de projeto na produção de obras é apresentado alguns exemplos do uso no dia a dia da engenharia, dentre eles está a altura do registro, previsto em projeto com altura de 30 centímetros, porém foi executado com 180 centímetros, conforme demonstrado na Figura 12.

Após a conclusão de seu trabalho e com os resultados obtidos, foi percebido que visualizar o projeto em realidade virtual e a maquete virtual em realidade aumentada são tarefas relativamente simples, além de úteis para a conferência dos projetos.

Figura 12 – Diferença na altura do registro



Fonte: Emmerich (2021)

Santos (2023), realizou uma revisão sistemática da literatura em retrospecto dos últimos onze anos sobre o estado da arte da realidade virtual e aumentada em engenharia civil. Apontou os softwares que utilizam a metodologia BIM como facilitadores para a implantação destas tecnologias na área. Informou também que um aplicativo chamado "Augment", para dispositivos móveis, transforma uma planta em holograma, mantendo a escala, permitindo aos usuários visualizarem modelos 3D em tempo real, demonstrado na Figura 13. Disponível para tablets e smartphones, esta ferramenta é utilizada por designers de produtos e equipes de marketing e vendas. Por fim, aponta que tem-se investido em RV e RA e que a previsão para o futuro é que seu uso se torne cada vez mais frequente.

Figura 13 – Augment, aplicativo de holograma de modelo 3D



Fonte: Augment (2019)

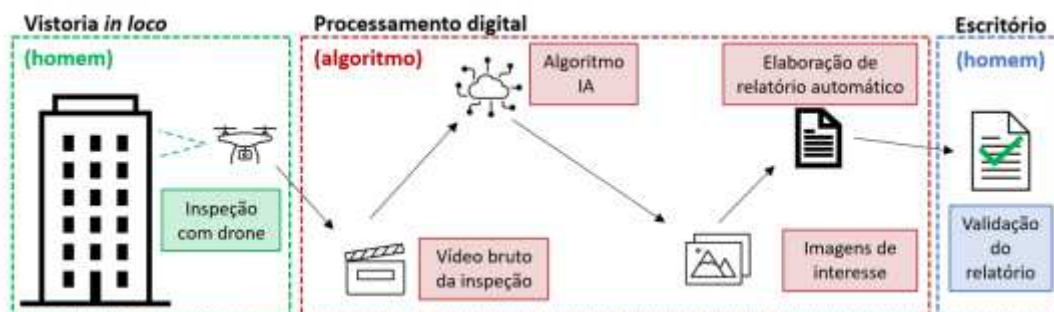
3.2.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA)

Anteriormente foi mencionada a utilização de VANTs para inspeção de manifestações patológicas em fachadas, agora será analisada essa mesma situação, porém com um item a mais, a Inteligência Artificial.

Segundo Schiffini *et al.* (2023), a inserção de um novo processo automatizado no fluxo de inspeção possibilita a redução de hora homem em relação aos métodos anteriores, tornando-se um processo mais rápido. Vale ressaltar que a análise final do relatório de inspeção de fachadas, bem como toda a tomada de decisão sobre as manutenções necessárias, continuam sendo de responsabilidade do agente humano, conforme descrito na Figura 14. O algoritmo tem o objetivo de acelerar a captura e o processamento dos dados.

Em sua conclusão, Schiffini *et al.* (2023) relatam que com uma IA otimizando a etapa de processamento e classificação dos dados, este serviço pode se tornar mais abrangente e diminuir o risco de acidentes em muitos empreendimentos brasileiros. Destacam também a preocupação sobre a existência de profissionais de tecnologia da informação disponíveis para esta demanda, pois estes estão escassos em todas as áreas.

Figura 14 – Inspeção da fachada com drone embarcado com câmera e processamento da filmagem com utilização de algoritmo de IA para detecção de anomalias



Fonte: Schiffini *et al.* (2023)

4 CONCLUSÃO

Durante o trabalho foi apresentado a importância de um bom mapeamento de danos em empreendimentos da construção civil para a manutenção da construção, garantindo um uso adequado. Com as revoluções industriais e avanços tecnológicos em todos os setores da economia, a engenharia não seria diferente. Muitas inovações foram inseridas nos cotidianos dos engenheiros, dentre elas, as apresentadas nesta análise.

Foi possível verificar a importância da inserção das tecnologias de laser scanner, fotogrametria digital, veículo aéreo não tripulado (VANT), tecnologia de realidade aumentada (RA), realidade virtual (RV) e inteligência artificial (IA). Foram apresentadas algumas situações comuns no dia a dia dos profissionais e realizada uma comparação entre os 5 métodos citados anteriormente para então estabelecer o mais adequado para cada hipótese.

- Locais inacessíveis, deformações em pontes e fachadas de prédios: é recomendado o uso do VANT por ele proporcionar a total segurança do profissional, além da possibilidade de sua combinação com outras tecnologias como fotogrametria digital, laser scanner e inteligência artificial para garantir melhores resultados.
- Patrimônios históricos: Para este caso a fotogrametria digital se destaca devido ao seu baixo custo e não necessidade de qualificação técnica, porém no quesito qualidade dos resultados deixa a desejar, portanto para atingir melhores resultados é recomendado o investimento em um VANT para assegurar a coleta de dados em locais como na fachada e os arredores do bem tombado.
- Infiltrações em edificações: A fotogrametria digital é a mais indicada devido ao seu custo benefício, por se tratar de uma manifestação patológica visível a olho nu e em locais de fácil acesso.

Pode-se concluir que para a obtenção de informações do campo as duas que mais se destacam são o laser scanner e o veículo aéreo não tripulado. Para a análise e estudo de como proceder para solucionar as manifestações patológicas, as tecnologias de realidade aumentada (RA), realidade virtual (RV) e inteligência artificial (IA) possibilitam melhores resultados. Vale ressaltar ainda que as últimas três citadas estão em constante evolução, mostrando um verdadeiro destaque para o futuro.

REFERÊNCIAS

ÁLVARES, P. *Fotogrametria digital e risco de incêndio em sítios históricos: possibilidades de aplicação*. 2009. 111f. Tese de Mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

AMIM, R.R. *Realidade Aumentada aplicada à Arquitetura e Urbanismo*. 2007. 60f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

AUGMENT. *Selling real estate projects through augmented reality*. 2019. Disponível em: <<https://www.augment.com/customer-stories/grupo-invercasa/>>. Acesso em: 22 ago. 2023.

AULER, A.; ZOGBI, A. Espeleologia: noções básicas. 2ª ed. São Paulo, Redespeleo Brasil, 2011. p. 11-34.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2020). NBR 16747: Inspeção predial - Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro-RJ.

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

BARBOSA, M.T.G.; INNOCENCIO, C.R.; SALZANI, L.O.; PEREIRA, T.S.S. A termografia e o uso de veículo aéreo não tripulado como instrumentos de auxílio no diagnóstico de manifestações patológicas em patrimônio cultural edificado. **Gestão & Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v16, n3, 2021. <https://doi.org/10.11606/gtp.v16i3.174232>

BARROS, M. M. B. **Patologias em Revestimentos Verticais**. EPUSP. São Paulo, 1997.

BEHZADAN, A. H et al. *Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications*. *Advanced engineering informatics*, v. 29, n. 2, p. 252–267, 2015.

BERTOTTO, P. Infiltrações em edifícios - A busca das causas. **XXI COBREAP Vitoria e Técnica: Segurança da Sociedade**. Goiânia. Novembro 2021. Disponível em: <<https://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2021/11/29-Infiltra%C3%A7%C3%B5es-em-Edif%C3%ADcios-A-busca-das-causas.pdf>> Acesso em: 19 mai. 2024.

BOAS, Y. *Overview of virtual reality technologies*. In: *Interactive Multimedia Conference*. [S.l.: s.n.], 2013. v. 2013, p. 4.

CINTRA, J.P.; GONÇALES, R. Topografia de túneis com laser scanner terrestre: estudo de caso. **Boletim de Ciências Geodésicas**. Curitiba, v. 23 nº1, p.115-133, jan – mar, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702017000100008>

- COELHO, L.; BRITO, J. Fotogrametria digital. 2. ed. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2007. 196 p.
- COSTA, K. L. N. **Drone com câmera: 10 opções mais baratas**. 2023. Disponível em: <<https://olhardigital.com.br/2023/04/18/reviews/drone-com-camera-10-opcoes-mais-baratas/>>. Acesso em: 23 abr. 2024.
- COSTA, V. C. C.. PATOLOGIA EM EDIFICAÇÕES ÊNFASE EM ESTRUTURAS DE CONCRETO. 2009. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do título de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2009.
- DALMOLIN, J. A. *Avaliação do uso da fotogrametria digital em levantamentos topográficos*. 2018. 98f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville, 2018.
- DO NASCIMENTO, F. B. C. CORROSÃO EM ARMADURAS DE CONCRETO. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 177–188, 2015. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/2651>. Acesso em: 19 maio. 2024.
- DU, J. et al. *Simultaneous Data Exchange between BIM and VR for Collaborative Decision Making*. 2017.
- DYER, T. *Concrete durability*. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- ELSHAFEY, A. et al. *Technology acceptance model for augmented reality and building information modeling integration in the construction industry*. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, p. 161 – 172, março 2020.
- EMBRATOP. **Laser Scanner 3D e um olhar sobre o futuro**. 2019. Disponível em: <<https://www.embratop.com.br/noticias/laser-scanner-3d-e-um-olhar-sobre-o-futuro-3/>>. Acesso em 17 abr. 2024.
- EMMERICH, R. G. *Percepção Da Realidade Aumentada Como Facilitador De Entendimento De Projeto Na Produção De Obras*. 2021. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo. 2021.
- ENGINEERING DO BRASIL. *Como potencializar a análise de dados com o uso de inteligência artificial?* 2022. Disponível em: <<https://blog.engdb.com.br/analise-de-dados-inteligencia-artificial/>>. Acesso em: 04 set. 2023.
- FALORCA, J. G. F.; LANZINHA, J. C. G. A utilização de drones como ferramenta tecnológica emergente para a inspeção técnica da envolvente de edifícios: revisão e ensaio de campo, 2018.

FALORCA, J.; MIRALDES, J.; LANZINHA, J. *New trends in visual inspection of buildings and structures: Study for the use of drones*. **Open Engineering**, v. 11, n. 1, p. 734-743, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0071>.

FERREIRA, A. R.; OLIVEIRA, R. F. Patologias na construção civil: estudo de caso em duas residências na cidade de Iraí de Minas - MG. **GETEC**, v.10, n.26, p.1-16/2021

GONÇALES, R. *Dispositivo de varredura laser 3D terrestre e suas aplicações na Engenharia, com ênfase em túneis*. 2007. 132p. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

GONZÁLEZ-JORGE, H.; GONZALEZ-AGUILERA, D.; RODRIGUEZ-GONZALVEZ, P.; ARIAS, P. *Monitoring biological crusts in civil engineering structures using intensity data from terrestrial laser scanners*. **Construction and Building Materials**, v. 31, p. 119-128, 2012.

HILL, J.; FORD, W. R.; FARRERAS, I. G. *Real conversations with artificial intelligence: A comparison between human–human online conversations and human–chatbot conversations*. **Computers in Human Behavior**. v49. p245-250. Agosto, 2015.

HÖHL, W. *Interactive environments with open-source software: 3D Walkthroughs and Augmented Reality for Architects with Blender 2.43, DART 3.0 and ARToolKit 2.72*. [S.l.]: Springer, 2009.

HUANG, T.W.; SMITH, C. *The History of Artificial Intelligence*. 2006. Disponível em: <<https://courses.cs.washington.edu/courses/csep590/06au/projects/history-ai.pdf>> . Acesso em: 15 jun. 2024.

JERALD, J. *The VR book: human-centered design for virtual reality*. Morgan & Claypool. 2016.

JORGE, L. A. de C.; INAMASU, R. Y. **Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão**. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 109-134.

KÖHL, K.I.; GREMMELS, J. *A software tool for the input and management of phenotypic data using personal digital assistants and other mobile devices*. **Plant Methods**, v. 11. Abril, 2015.

LEITE, Y. G. S.; SANTOS, C. A. M.; FIGUEIREDO, S. C. G. **Tópicos em construção civil: Tecnologia, inovação e metodologias aplicadas**. 1. ed. Belo Horizonte: Editora Poisson. 2021.

LERMA, C.; MAS, A.; GIL, E.; VERCHER, J.; PEÑALVER, M. *Pathology of building materials in historic buildings. Relationship between laboratory testing and infrared*

thermography. Materiales de Construccion. n. 64, p. 313, 2014. DOI: 10.3989/mc.2013.06612.

LISBOA, D. W. B.; BARROSO, E. S. C.; SILVA, A. B. S.; SOUZA, A. B. A.; FERREIRA, M. M. **Utilização do VANT para Inspeção de Segurança na Construção de uma Avenida em Belém-PA.** 16o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Anais. São Paulo, 2018.

LORENZI, A.; REGINATO, L. A.; LORENZI, L. S.; FILHO, L. C. P. S. Emprego de ensaios não destrutivos para inspeção de estruturas de concreto. **Revista de Engenharia Civil IMED**, 3(1): 3-13, jan./jun. 2016.

MAGALHÃES, A. **Ascensão da Inteligência Artificial na Engenharia Civil.** 2023. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/construindo-o-amanh%C3%A3-ascens%C3%A3o-da-intelig%C3%Aancia-na-civil-magalh%C3%A3es-3pwof/>>. Acesso em: 20 mai. 2024.

MAIMAN, T. H. 1960. *Stimulated optical radiation in ruby. A Century of Nature: Twenty-One Discoveries that Changed Science and the World, edited by Laura Garwin and Tim Lincoln, Chicago: University of Chicago Press, 2003, pp. 113-114.* <https://doi.org/10.7208/9780226284163-019>

MAPPA. **Fotogrametria: o que é, como funciona e 31 aplicações.** 2021. Disponível em: <<https://mappa.ag/blog/fotogrametria-o-que-e-aplicacoes/>>. Acesso em: 19 abr. 2024.

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

NERY, L. M. C.; PIMENTA, J. S. A.; BRAGA, J. S. S. **O uso de veículos aéreos não tripulados na construção civil e suas contribuições no Brasil.** In: III SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO E ENGENHARIA URBANA: SINGEORB, 2021, Maceió. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 558- 565. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sin_geurb/issue/view/14>.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5ª ed. Porto Alegre, Bookman. 2016

NUNES, J. C.; DAMASCENO, K. C.; AMARAL, L. A.; GONÇALVES, J. R. M. R.; MARTINS, F. B. S. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.7, n.5, p.48645-48664. Maio 2021.

PAVI, S.; BORDIN, F.; VERONEZ M. R. O Uso do Laser Scanner Terrestre na Inspeção de Pontes e Viadutos de Concreto: uma Revisão Bibliográfica. **VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas**, Rio de Janeiro, mai. 2014.

PALEVICIUS, P.; PAL, M.; LANDAUSKAS, M.; ORINAITÈ, U.; TIMOFEJEVA, I.; RAGULSKIS, M. **Automatic Detection of Cracks on Concrete Surfaces in the Presence of Shadows**. *Sensors* 2022, 22, 3662. <https://doi.org/10.3390/s22103662>

PAN, Y.; ZHANG, L. *Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends*. **Automation in Construction**. V122. Fev. 2021.

PMI. Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos. Guia PMBOK 6 ed. - EUA: *Project Management Insititute*, 2017.

ROCHA, O. **Diferenças entre realidade aumentada, virtual e mista**. 2022. Disponível em: <<https://www.sindiconet.com.br/informese/diferencas-entre-realidade-aumentada-virtual-e-mista-colunistas-odirley-da-rocha>>. Acesso em: 13 mai. 2024.

SAAD, J.L. *A importância da inspeção predial a fim de detectar falhas e anomalias em edificações de múltiplos pavimentos estudo de caso – residencial bloco ‘A’ AQN 311 – Brasília DF*. 2017. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2017.

SANTANA, L.C. *Aplicação da realidade virtual e realidade aumentada na engenharia civil*. 2023. 15f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Salvador, Salvador, 2023.

SANTOS, N. C. F. *O Estado da Arte da Realidade Virtual e Aumentada em Engenharia Civil: Uma Revisão Sistemática da Literatura em retrospecto dos últimos 11 anos*. 2023. 103f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2023.

SCHIFFINI, G. B. M.; ANDRADE, R. P.; ZAPPILE, J. C. M.; CARDOSO, F. F.; MARANHÃO, F. L. **Utilização de Inteligência Artificial em inspeção de fachadas: impactos sobre os agentes da cadeia produtiva de operação e manutenção de edificações**. In: Simposio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 14., 2023. Anais [...]. [S. l.], 2023. DOI: 10.46421/sbta.v14.4756. Disponível em: <<https://eventos.antac.org.br/index.php/sbta/article/view/4756>>. Acesso em: 22 jun. 2024.

SHERMAN, W. R.; CRAIG, A. B. **Understanding virtual reality: Interface, application, and design**. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2018.

SICHMAN, J. S. Inteligência Artificial e sociedade: avanços e riscos. **Estudos Avançados**. São Paulo, v. 35 n. 101. Mar. 2021.

SILVA, I. N.; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A.; LIBONI, L.H.B.; ALVES, S.F. R. Artificial Neural Network Architectures and Training Processes. In: *Artificial Neural Networks*. Springer, 2017.

SILVA, R.; LUCENA, M. **Tecnologias Imersivas na Construção Civil: Uma Revisão sobre Realidade Virtual e Aumentada no Processo de Projeto e Construção de Edifícios e**

Estruturas. Disponível em:
<https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/fe1aa1ef-280d-48ad-91f7-661ddd1cf612>
Acesso em: 14 jun. 2024.

SOUZA, V.; RIPPER, T. *Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto*. – São Paulo: Pini, 1998.

TECNOSAT SOLUÇÕES EM GEOTECNOLOGIA. *Escaneamento a Laser 3d: Tudo o que você precisa saber*. 2021. Disponível em:
<<https://www.tecnosat.com.br/post/escaneamento-a-laser-3d-tudo-o-que-voc%C3%AA-precis-a-saber>>. Acesso em: 17 abr. 2024.

TINOCO, J.E.L. *Mapa de danos - Recomendações básicas*. Olinda: Centro de estudos avançados da conservação integrada. 2009.

TOMMASELLI, Antonio Maria Garcia. Um estudo sobre as técnicas de varredura a laser e fotogrametria para levantamentos 3D a curta distância. **GEODÉSIA Online-Revista da Comissão Brasileira de Geodésia**, v. 4, p. 1415-1111, 2003.

TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. A. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Editora SBC, 2006.

VICENTE, R. S.; SILVA, J. A. R. M.; VARUM, H. *Observação, registo e diagnóstico de anomalias em edifícios no âmbito da reabilitação urbana*. 2005. Disponível em:
<<https://core.ac.uk/reader/15566892>> . Acesso em: 26 mai. 2024.

WHITE, W. B. *Cave minerals and speleotems*. In: FORD, T. D.; CULLINFOR, C. H. D. (eds). *The science of Speleology*. London, Academic Press, 1976. cap. 8.

WOODSON, R. D. *Concrete Structures: Protection, Repair and Rehabilitation*. 1. ed. Burlington, United States of America: Butterworth–Heinemann, 2009.

WU, C.; YUAN, Y.; TANG, Y.; TIAN, B. Application of Terrestrial Laser Scanning (TLS) in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry. **Sensors** 2022, 22, 265. <https://doi.org/10.3390/s22010265>