



**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS DE SERGIPE - FANESE**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DENISON SANTOS DA SILVA**

**PATOLOGIAS EM FACHADAS:**

**UMA COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE INSPEÇÃO TRADICIONAIS E DA  
INDÚSTRIA 4.0**

**Aracaju – SE  
2024.1**

**DENISON SANTOS DA SILVA**

**PATOLOGIAS EM FACHADAS:  
UMA COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE INSPEÇÃO TRADICIONAIS E DA  
INDÚSTRIA 4.0**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Fanese – Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe, como requisito final e obrigatório para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.**

**Orientador: Prof. Dr. Erwin Henrique Schneider  
Coordenador: MSc. Elísio Cristóvão Santos**

**Aracaju - SE  
2024.1**

S586p

SILVA, Denison Santos da

Patologias em fachadas : uma comparação entre métodos de inspeção tradicionais e da indústria 4.0 / Denison Santos da Silva. - Aracaju, 2024. 67f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia)  
Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe.  
Coordenação de Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof. Dr. Erwin Henrique M.  
Schneider

1. Engenharia civil 2. Fachada 3. Inspeção  
predial 4.VANT I. Título

CDU 624 (043.2)

DENISON SANTOS DA SILVA

PATOLOGIAS EM FACHADAS:

UMA COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE INSPEÇÃO TRADICIONAIS E DA  
INDÚSTRIA 4.0

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da  
Fanese – Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe, como requisito final  
e obrigatório para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aracaju (SE), 10 de JUNHO de 2024

Nota/Conteúdo: 10,0

Nota/Metodologia: 10,0

Média Ponderada: 10,0

*Denison Santos da Silva*

Denison Santos Da Silva

*Erwin Henrique Menezes Schneider*

Prof. Dr. Erwin Henrique Menezes Schneider

*Heloisa Thaís R. de Souza*

Prof. Dra. Heloisa Thaís Rodrigues de Souza

*Eudes de Oliveira Bomfim*

Prof. Eudes de Oliveira Bomfim

Aracaju – Sergipe  
2024.1

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradecer a Deus, pela saúde e força em um momento tão crítico da nossa história recente, por guiar meus passos e mostrar o caminho certo.

Aos meus pais, Vanusia e Moacir, que sempre me apoiaram e incentivaram na continuidade dos meus estudos.

À minha irmã, Daiane, por ser um exemplo de determinação e profissionalismo e sempre incentiva e torce por mim.

Ao professor e orientador Dr. Erwin Schneider, por estender-me a mão e aceitar como aluno, confiando nos meus esforços e capacidade. Pela sua orientação, ensinamentos e sugestões ao longo destes anos, para realização do meu trabalho.

A professora Dra. Heloísa Thaís, que tenho um imenso carinho e gratidão. Tive a oportunidade de conhecê-la quando ainda éramos alunos do ensino médio, sempre foi muito carinhosa e prestativa comigo. Pela sua rica contribuição, paciência e incentivo desde o processo de escolha do meu tema até a conclusão deste trabalho.

Aos meus amigos Renaldo e Daisy, pela ajuda e encorajamento a voltar a estudar depois de longos anos afastado da vida acadêmica.

À minha amiga Paloma Kelly, a qual partilhei toda trajetória acadêmica nesses cinco anos, por acreditar na nossa capacidade e pela amizade que se fortaleceu durante esse período.

Agradeço a todos os professores, que ao longo do curso tive o privilégio de conhecer e que partilharam seus conhecimentos, a exemplo das professoras Mara Régia e Leila Monteiro, que infelizmente não fazem mais parte do quadro da instituição, ao professor Ivan Dortas, Marcos Chagas, entre outros.

Enfim, agradeço a todos aqui não citados, mas que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para essa conquista.

***“Provem, e vejam como o  
Senhor é bom. Como é feliz o  
homem que nele se refugia!”***

***Salmos 34:8***

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Resumo da regulamentação da ANAC .....	30
<b>Quadro 2</b> – Natureza química das eflorescências .....	38
<b>Quadro 3</b> – Origem da umidade nas construções.....	39
<b>Quadro 4</b> – Distribuição temporal das pesquisas sobre o uso de veículos não tripulados no Google Acadêmico.....	58
<b>Quadro 5</b> – Distribuição temporal das pesquisas sobre o uso de veículos não tripulados na biblioteca digital de teses e dissertações.....	59

## LISTA DE GRÁFICOS

**Gráfico 1** – Distribuição temporal das pesquisas sobre o uso de veículos não tripulados no Google Acadêmico.....58

**Gráfico 2** – Distribuição temporal das pesquisas sobre o uso de veículos não tripulados na biblioteca digital de teses e dissertações.....59

**Gráfico 3** – Acidentes de trabalho por altura distribuído por região entre 2012 e 2017.60

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Modelo de drone multirotor .....	17
<b>Figura 2</b> – Sistema de acesso por corda .....	20
<b>Figura 3</b> - Etapas da inspeção com VANT .....	24
<b>Figura 4</b> - Protocolo de captura de imagens de fachada utilizando VANT .....	25
<b>Figura 5</b> – Tipos de operação de voo.....	27
<b>Figura 6</b> - Elementos atuantes nas fachadas de edificações .....	32
<b>Figura 7</b> - Processo de deterioração de revestimentos argamassados .....	33
<b>Figura 8</b> - Eflorescência, cristalização dos sais solúveis na superfície da argamassa de revestimento.....	37
<b>Figura 9</b> - Degradação com descolamento do revestimento devido a infiltração de água na fachada .....	41
<b>Figura 10</b> Edificação com diversos tipos de bioterização .....	43
<b>Figura 11</b> Fissuras decorrentes da retração da argamassa provocada pela falha da pintura e exposição contínua da parede a água da chuva .....	45
<b>Figura 12</b> Fluxo de água interceptado no peitoril da janela onde escorre lateralmente, provocando a fadiga do reboco desenvolvendo sua fissuração .....	45
<b>Figura 13</b> Fissura típica de alvenaria causada por sobrecarga vertical .....	46
<b>Figura 14</b> Recalque provocado geralmente em solo pouco compactado .....	47
<b>Figura 15</b> Recalque provocado por corte e aterro .....	47

## RESUMO

A fachada de um edifício desempenha um papel fundamental tanto do ponto de vista funcional quanto de valorização econômica, segurança, estética, assim como a paisagem urbana em geral. Dessa forma, as inspeções prediais são imprescindíveis para garantir seu desempenho, além das características pertinentes para sua conservação. Há pouco tempo, quando um edifício apresentava alguma anomalia/patologia em sua fachada, existiam duas possibilidades de avaliação de tais manifestações. A primeira era composta por uma análise a distância por meio de câmeras ou binóculos e a segunda na inspeção local da fachada por profissionais habilitados para serviços em altura com equipamento especial, chamados de alpinistas industriais, que detectam e catalogam as manifestações para posterior análise do especialista. Nesse contexto, o uso de veículos aéreos não tripulados (VANT), comercialmente conhecidos como “drones”, surge como ferramenta capaz de contribuir para as inspeções prediais e geração de documentação das edificações. A pesquisa buscou averiguar qual método operacional aumenta a segurança e diminui o tempo de inspeção para detecção de manifestações patológicas. Desse modo, o presente trabalho, tem por objetivo geral analisar a utilização de mecanismos baseados nos fundamentos tradicionais e da indústria 4.0 no processo de inspeção de fachadas, trazendo assim um comparativo com os métodos tradicionais de inspeção. Logo, foram definidos os seguintes objetivos específicos: analisar a legislação aplicável ao trabalho em altura, com base na NR-35, e as NBR-15475 e NBR-15595 com o intuito de identificar os equipamentos de proteção, e certificações técnicas necessárias na atividade de acesso por corda, aplicar análise do desempenho das aeronaves remotamente pilotadas e identificar as principais patologias em fachadas. Para atingir o objetivo proposto, o trabalho baseou-se na metodologia qualitativa, que consiste na coleta de dados e levantamento bibliográfico acerca do assunto com o propósito de identificar patologias em fachadas de edificações residenciais evidenciando que as possíveis causas normalmente estão associadas à deficiência de projeto, por emprego de material inadequado ou de má qualidade, erro de execução ou não observância de normas técnicas, fazendo uma comparação em relação ao método de inspeção tradicional com alpinista industrial e o uso de VANT.

**Palavras-chave:** Fachada; Inspeção Predial; Drones; VANT.

## ABSTRACT

The facade of a building plays a fundamental role both from a functional point of view and in terms of economic value, security, aesthetics, as well as the urban landscape in general. Therefore, building inspections are essential to guarantee its performance, in addition to the characteristics relevant to its conservation. Not long ago, when a building presented some anomaly/pathology on its facade, there were two possibilities for evaluating such manifestations. The first consisted of a remote analysis using cameras or binoculars and the second was the local inspection of the facade by professionals qualified to work at heights with special equipment, called industrial climbers, who detect and catalog the manifestations for subsequent analysis by the specialist. In this context, the use of unmanned aerial vehicles (VANTs), commercially known as “drones”, appears as a tool capable of contributing to building inspections and generating building documentation. The research sought to find out which operational method increases safety and reduces inspection time to detect pathological manifestations. Therefore, the general objective of this work is to analyze the use of mechanisms based on traditional and industry 4.0 foundations in the facade inspection process, thus providing a comparison with traditional inspection methods. Therefore, the following specific objectives were defined: analyze the legislation applicable to working at heights, based on NR-35, and NBR-15475 and NBR-15595 with the aim of identifying the protective equipment and technical certifications required in the activity of rope access, apply performance analysis of remotely piloted aircraft and identify the main pathologies on facades. To achieve the proposed objective, the work was based on qualitative methodology, which consists of data collection and bibliographical survey on the subject with the purpose of identifying pathologies on facades of residential buildings, showing that the possible causes are normally associated with design deficiencies. , due to the use of inadequate or poor quality material, execution errors or non-compliance with technical standards, making a comparison in relation to the traditional inspection method with an industrial climber and the use of VANTs.

**Keywords:** Facade; Building; Inspection; Drones; VANT.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>16</b>
2.1 Inspeção predial .....	16
2.1.1 Norma IBAPE - Inspeção Predial Nacional .....	18
2.1.2 Alpinismo industrial .....	19
2.2 A Indústria 4.0 e a Construção Civil.....	22
2.2.1 Aeronaves remotamente pilotadas.....	23
2.2.2 Norma Regulamentadora da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) ....	28
2.3 Principais patologias em sistemas de fachadas .....	31
2.3.1 Patologias em revestimentos argamassados de fachada .....	32
2.3.1.1 Descolamentos .....	34
2.3.1.1.1 Descolamento com pulverulência.....	34
2.3.1.1.2 Descolamento em placas .....	34
2.4.1.1 Descolamento por empolamento .....	35
2.4.1.2 Eflorescência.....	35
2.4.1.3 Patologias causadas por umidade .....	39
2.4.1.4 Patologias decorrentes de processos biológicos .....	42
2.4.1.5 Trincas e fissuras .....	43
2.4.2 Patologias em revestimentos cerâmicos de fachada (RCF).....	48
2.4.2.1 Destacamentos ou descolamentos .....	49
2.4.2.2 Deterioração das juntas .....	49
2.4.2.3 Eflorescência.....	50
2.4.2.4 Trincas, fissuras e gretamento .....	50
2.4.3 Patologias em rochas ornamentais de fachadas .....	51
2.4.4 Patologias em revestimentos de fachada por pintura .....	52
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>55</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
4.1 Análise bibliométrica no tempo.....	57
4.2 Análise da vantagem do uso de VANTs no critério segurança .....	59
4.3 Análise da vantagem do uso de VANTs no tempo .....	60
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>62</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os elementos construtivos de modo geral estão expostos as mais diversas classes de condição e intempéries. Diversos fatores, desde a luz solar até o próprio uso, podem gerar desgastes à estrutura que, quando não reparados, podem comprometer a vida útil da construção, o desempenho para a qual foi criada e, em casos extremos, a estabilidade deste elemento.

Assim como qualquer outro elemento construtivo, os edifícios sofrem degradações ao longo dos anos e as fachadas as apresentam de forma acelerada, em função à sua exposição constante aos agentes ambientais, como descrevem Tondelo e Barth (2019). Além disso, a altura das edificações e a escassez de inspeções são outros fatores que podem acelerar sua degradação, uma vez a dificuldade de acesso e a mobilização demandada para tal (locação de equipamentos, ferramentas, profissionais especializados, entre outros).

Estas degradações podem ocasionar o aparecimento de patologias, como fissuras, eflorescências, vesículas, descolamentos, que podem comprometer não só a estética da fachada, mas também a sua estabilidade, potencializando riscos patrimoniais e a pessoas, tornando a manutenção preventiva imprescindível.

Define-se como manutenção de uma edificação o conjunto composto de ações que visam atender às necessidades e segurança dos usuários. A manutenção deve ser orientada pelo processo de inspeção que, por sua vez, avalia o estado da edificação e das partes que a constitui (ABNT, 2013).

A inspeção visual de fachadas é uma etapa fundamental à manutenção da edificação, já que tem como propósito avaliar a longevidade da vedação vertical e os diferentes elementos que a compõem, fornecendo diretrizes para uma manutenção efetiva com custo-benefício adequado, podendo inclusive estender sua vida útil. No entanto, variáveis como altura, dificuldades de acesso e condições de exposição devem ser consideradas antes de se iniciar o serviço, visto que pode torná-lo laborioso e até mesmo perigoso (Ruiz *et al.*, 2021).

A chamada quarta revolução industrial, também conhecida como Indústria 4.0, tem por objetivo inserir tecnologia nos produtos e processos, racionalizando e aumentando a eficiência do controle e da gestão dos processos produtivos. Dessa forma, com a chegada da quarta revolução industrial, a construção civil foi estimulada a aprimorar seus processos com o propósito de atender aos novos padrões produtivos estabelecidos. Nesse sentido, a

utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), também conhecidos como drones, tem ganhado destaque dado sua notória eficácia, capaz de reduzir o custo e tempo despendidos (Kavuma; Ock; Jang, 2019).

Além disso, com ajuda dessa tecnologia, é possível realizar uma filmagem completa e captura de fotografias em alta resolução (*High Definition* - HD) e apoiar como instrumento de acesso e operação de outras tecnologias investigativas, tendo como amostra, a termografia, o que origina em detalhes que não poderiam ser observados a olho nu, tal como: infiltrações, fissuras ou furos no revestimento, entre outras manifestações patológicas (Aguilar, 2019).

Recentemente, diferentes estudos científicos vêm se desenvolvendo através da utilização de drones como ferramenta de prospecção, levantamento de dados e inspeção visual, essencialmente para diversos elementos de infraestrutura. Autores como Prometalepis (2018), Aguilar (2019), Shibasaki (2019) e Andrade (2020) estudaram a aplicabilidade de drones para a inspeção e obtiveram resultados promissores quanto a identificação assertiva do surgimento de patologias.

Contudo, apesar de conhecidas as vantagens de se utilizar novas tecnologias no processo construtivo, sua implementação na engenharia civil ainda é um grande desafio, visto seus custos exorbitantes, recursos de treinamento necessários para aplicar mudanças e inovações tecnológicas, longos períodos de *payback* e, principalmente, na relutância em romper os sistemas, processos e procedimentos tradicionais enraizados na indústria da construção (Maskuriy *et al.*, 2019; Newman *et al.*, 2020).

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

Nesse sentido, o trabalho em altura requer uma atenção especial para que possa ser executada de forma segura, minimizando os riscos que são impostos aos trabalhadores. É essencial que os trabalhadores estejam devidamente treinados e habilitados para executar as atividades e que tanto o empregado quanto o empregador respeitem os procedimentos determinados pelas normas vigentes.

Conforme o estudo realizado pelo Ministério do trabalho e Revista Proteção, 40% dos acidentes de trabalhos estão relacionados por queda de altura no Brasil, ocorre cerca de 121 incidentes abrangendo queda em altura todos os dias, onde a maior parte dos acidentes da indústria e na construção civil se dá por causa da falta de equipamentos de

proteção individual ou coletiva, carência de capacitação dos trabalhadores e iniciativas que visam minimizar os riscos na execução do trabalho em altura (Brusque, 2022).

É nesse contexto, então, que se propõe nesse trabalho como objetivo geral analisar a utilização de mecanismos baseados nos fundamentos tradicionais e da indústria 4.0 no processo de inspeção de fachadas, trazendo assim um comparativo com os métodos tradicionais de inspeção.

Foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a legislações aplicável ao trabalho em altura, com base na NR-35, e as NBR-15475 e NBR-15595 com o intuito de identificar os equipamentos de proteção, e certificações técnicas necessárias na atividade de acesso por corda;
- Aplicar análise do desempenho das aeronaves remotamente pilotadas; e
- Identificar as principais patologias em fachadas.

Diante do exposto a presente pesquisa está dividida em cinco capítulos. O primeiro capítulo corresponde à introdução que aborda o assunto de maneira geral, onde são apresentados o contexto, o objetivo geral informando a ideia central do trabalho com a sua finalidade, e os objetivos específicos, descrevendo os resultados alcançados a partir da pesquisa bibliográfica.

No segundo capítulo, explana sobre a fundamentação teórica acerca do tema. Nesse sentido são abordados os temas referentes a Norma IBAPE, ao alpinismo industrial, a indústria 4.0 e a construção civil e as principais patologias em sistemas de fachadas.

No terceiro capítulo, abordando a metodologia utilizada na produção da pesquisa, realizando um levantamento bibliográfico de referências já publicadas em sites acadêmicos. O quarto capítulo apresenta os resultados e discussão e o quinto capítulo com as considerações finais.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A pesquisa em questão aborda definições e conceitos retirados ou interpretados de artigos e livros relacionados à padronização de processos.

### **2.1 Inspeção predial**

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), as NBR's 5.674 (ABNT, 2012) e 15.575 (ABNT, 2013) definem Inspeção Predial, respectivamente, como a avaliação do estado da edificação e de suas partes constituintes, realizada para orientar as atividades de manutenção; e a verificação, através de metodologia técnica, das condições de uso e de manutenção preventiva e corretiva da edificação.

Sendo assim, a inspeção é a forma de identificar o estado geral da edificação, desde a seleção do sistema construtivo e a parte da fundação até o ponto de acabamento e avaliação da cobertura e pintura externa. Avaliar as diversas condições da edificação se tornam necessárias para garantir a qualidade da mesma e por conta disso, não só uma metodologia é utilizada. Condições de desempenho, funcionalidade, vida útil, segurança, longevidade, manutenção, utilização e operação, precisam ser avaliadas e em conformidade com as condições pretendidas, atender as necessidades dos usuários.

Para tanto, o trabalho de Inspeção Predial considera a edificação como o corpo humano e, assim como em um check-up médico, avalia cada parte ou elemento construtivo. Neste caso, a pessoa Física ou Jurídica faz a contratação do serviço de um profissional reconhecido e credenciado para desenvolver a inspeção e ao final elaborar um laudo que irá auxiliar na composição de um orçamento ou perícia.

O ato de averiguar através de inspeção visual é uma forma de ensaio da qual o homem se utiliza há muitos anos. Ter a capacidade de visualizar uma atividade e através disso, obter dados para avaliar as suas condições é uma forma de ensaio que pode ser utilizada para várias áreas de conhecimento, não só na engenharia civil. Sendo assim, a inspeção se caracteriza pelo fato de, através do conhecimento técnico apropriado, saber avaliar uma atividade ou produto através da observação visual e então emitir laudo capaz de comprovar o seu desempenho, sendo este conforme ou desconforme.

É importante saber que, para muitas das inspeções é imprescindível que o profissional que realiza tal atividade tenha capacidade comprovada para desempenhar tal atividade. Além de exigir condições específicas para garantir sua exatidão, como iluminação,

por exemplo, existe a obrigação de se comprovar a capacidade técnica, visto que raramente a visão de um leigo pode retratar o que realmente precisa ser inspecionado.

É importante destacar que, apesar de já ser uma prática frequente da engenharia civil, a inspeção visual não substitui de forma alguma, outros tipos de ensaio não destrutivos, mas pode auxiliar no andamento da atividade e na escolha de um possível ensaio que possa ser realizado na sequência.

Podemos então afirmar que a inspeção seria uma classe de ensaio não destrutivo, realizada por profissional capacitado capaz de fornecer dados tomados através de visualização que visa garantir a qualidade de um serviço ou produto o qual é a porta de entrada para a execução ou não de outros ensaios. Alguns equipamentos podem até ser usados tais como, lupas de pequeno aumento, boroscópio, câmeras de televisão e também os VANTs, conforme a figura 1.

**Figura 1 – Modelo de drone multirrotor**



Fonte: Aniwaa (2017)

A inspeção predial não se restringe somente a avaliação visual, podendo através da obtenção de corpos de prova ou da utilização de ferramentas e tecnologia, realizar testes que dão mais detalhes para comprovar o que o profissional visualiza. Entre estas, temos a ultrassom, esclerometria, resistividade, umidade, termografia, e muitas outras. Contudo a utilização de imagens na composição dos relatórios de inspeção é essencial à análise da realidade, visto o difícil acesso à fachada, e ao planejamento das etapas seguintes.

### 2.1.1 Norma IBAPE - Inspeção Predial Nacional

Esta norma fixa as diretrizes, conceitos, terminologia, convenções, notações, critérios e procedimentos relativos à inspeção predial, cuja realização é de responsabilidade e da exclusiva competência dos profissionais, engenheiros e arquitetos, legalmente habilitados pelos Conselhos Regionais de Engenharia e Agronomia (CREAs), conforme a Lei Federal 5194 de 21/12/1966 e resoluções do Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA) e Conselhos de Arquitetura e Urbanismo (CAU), Lei nº 12.378 de 31/12/2010 e resoluções do CAU-BR.

As inspeções são classificadas quanto a sua complexidade e elaboração de laudo, consideradas as características técnicas da edificação, manutenção e operação existentes e necessidade de formação de equipe multidisciplinar para execução dos trabalhos. Os níveis de inspeção predial podem ser classificados em nível 1, nível 2 e nível 3 de acordo com a Norma IBAPE (2012).

- **Nível 01:** realizada em edificações com baixa complexidade técnica, de inspeção e de operação de seus elementos e sistemas construtivos. Normalmente empregada em edificações com planos de manutenção muito simples ou inexistentes. A Inspeção Predial nesse nível é elaborada por profissionais habilitados em uma especialidade.
- **Nível 02:** realizada em edificações com média complexidade técnica, de inspeção e de operação de seus elementos e sistemas construtivos, de padrões construtivos médios e com sistemas convencionais. Normalmente empregada em edificações com vários pavimentos, com ou sem plano de manutenção, mas com empresas terceirizadas contratadas para execução de atividades específicas como: manutenção de bombas, portões, reservatórios de água, dentre outros. A Inspeção Predial nesse nível é elaborada por profissionais habilitados em uma ou maior número de especialidades.
- **Nível 03:** realizada em edificações com alta complexidade técnica, de inspeção e operação de seus elementos e sistemas construtivos, de padrões construtivos superiores e com sistemas mais sofisticados. Normalmente empregada em edificações com vários pavimentos ou com sistemas construtivos com automação. Nesse nível de inspeção predial, obrigatoriamente, é executado na edificação um Manutenção com base na ABNT NBR 5.674. Possui, ainda, profissional habilitado responsável técnico, plano de manutenção com atividades planejadas e procedimentos detalhados, software de gerenciamento, e outras ferramentas de gestão administrativa de manutenção

existente. A Inspeção Predial nesse nível é elaborada por profissionais habilitados acima de uma especialidade. Nesse nível de inspeção, o trabalho poderá ser intitulado como de Auditoria Técnica.

Os relatórios de inspeção predial baseiam-se na análise do risco oferecido aos usuários, ao meio ambiente e ao patrimônio, diante das condições técnicas, de uso, operação e manutenção da edificação, bem como da natureza da exposição ambiental. A análise do risco consiste na classificação das anomalias e falhas identificadas nos diversos componentes de uma edificação, quanto ao seu grau de risco relacionado com fatores de manutenção, depreciação, saúde, segurança, funcionalidade, comprometimento de vida útil e perda de desempenho.

Classificação do grau de risco pode ser dividida em três segundo o IBAPE (2012).

- **Crítico:** representa risco para a saúde das pessoas e do meio ambiente, por perda excessiva da funcionalidade da edificação;
- **Médio:** representa risco de perda parcial de desempenho sem prejuízo a operação do sistema, deterioração precoce;
- **Mínimo:** provoca pequenos prejuízos à estética ou atividade programável e planejada além de baixo ou nenhum comprometimento do valor imobiliário.

Sendo assim, as etapas empregadas no processo de inspeção são: (i) determinação do nível de inspeção; (ii) verificação e análise da documentação; (iii) obtenção de informações dos usuários, responsáveis, proprietários e gestores das edificações (recomenda-se obter informações através de questionários e entrevistas junto aos usuários, síndicos, gestores prediais, e demais responsáveis técnicas); (iv) vistoria dos tópicos constantes na listagem de verificação; (v) classificação das anomalias e falhas constatadas nos itens vistoriados e das não conformidades com a documentação examinada; (vi) classificação e análise das anomalias e falhas quanto ao grau de risco; (vii) definição de prioridades; (viii) recomendações técnicas de forma clara e simplificadas, possibilitando ao gestor, síndico ou proprietário a fácil compreensão; (ix) avaliação da manutenção e uso; (x) recomendações gerais e de sustentabilidade; (xi) elaboração do laudo; e (xii) apresentação das responsabilidades técnicas.

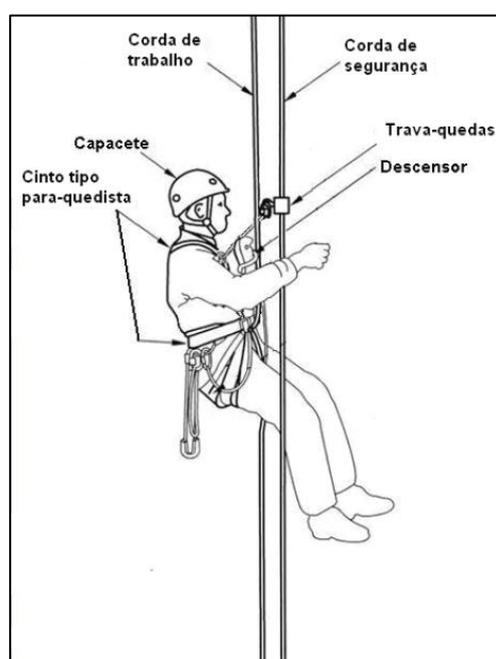
### 2.1.2 Alpinismo industrial

As inspeções prediais são obrigatórias e podem ser realizadas através da utilização de diversas ferramentas como escadas, guindastes, plataformas articuladas e andaimes,

além do método tradicional conhecido como alpinismo industrial e mais recentemente as aeronaves remotamente pilotadas, foram incluídas como outra técnica emergente para ser utilizada durante este processo.

Denominado também por rapel ou acesso por corda, o alpinismo industrial é uma tecnologia de execução de trabalho em altura em obras de construção civil, que permite aos trabalhadores alcançarem locais de difícil acesso, sem a alternativa do uso de estruturas de apoio, como: andaimes, plataformas elevatórias ou bailéus, que apresentam uma condição de acesso muito limitado. É um método alternativo para a inspeção, manutenção e reparação de fachadas de edifícios e outras estruturas industriais e residenciais (Prometalepis, 2018), como mostra a figura 2.

**Figura 2 – Sistema de acesso por corda**



Fonte: ABNT (2008)

O método de acesso por corda é utilizado em diversas atividades de diferentes segmentos, podendo ser utilizado em Inspeção e Ensaio de Estruturas, em atividades de pesquisas estruturais, ensaios não destrutivos, espaços confinados, em mastros, torres e postes, instalações de localização de satélite e de radar. Refere-se a um método de amplo espectro utilizado também nos segmentos de Construção, Manutenção e Reparação de pontes, edifícios, monumentos, turbinas eólicas.

A técnica também pode ser usada em atividades de limpeza e pintura como uso de jateamento, preparação de superfície total e pintura de pulverizador. No segmento de empresas que atuam com prestação de serviços e gerenciadoras de obras para: checklist

de recebimento de obras, limpeza de janelas, substituição de elementos, inspeção e reparo de vidros e controle de pragas. É utilizada também na Engenharia Geotécnica para inspeção destinada a estabilização de taludes e prevenção de quedas de rochas. No ramo de mídia e entretenimento em atividades de armação para estágio, iluminação e som, construção de banners e fotografia aérea (IRATA Brasil, 2014).

Para que tudo ocorra perfeitamente e que sejam alcançadas todas as vantagens do uso dessa técnica, é preciso ficar atento aos Equipamentos de Segurança Individuais (EPIs), Normas Regulamentadoras e a qualificação dos profissionais.

Como a maioria das atividades são realizadas a céu aberto, as condições climáticas também podem interferir significativamente na realização da atividade, exigindo que o alpinista esteja sempre atento a qualquer alteração, a fim de que o serviço seja realizado de forma eficaz e garantindo principalmente sua própria segurança.

Todo trabalho em altura deve ser precedido de Análise de Risco, que deve contemplar, além, dos riscos inerentes ao trabalho em altura, a todas as demais exigências previstas nas Normas Regulamentadoras.

As Normas Regulamentadoras, conhecidas como NR's, são disposições complementares ao Capítulo V (Da Segurança e da Medicina do Trabalho) do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), com redação dada pela Lei nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977. Atualmente, o Brasil dispõe de 37 destas normas as quais designam um agrupamento de obrigações, direitos e deveres a serem cumpridos tanto por empregadores quanto pelos trabalhadores, objetivando a garantia de condições de trabalho seguras e sadias, prevenindo casos de doenças e acidentes de trabalho. (Ministério do Trabalho e Previdência, 2022). Enquanto as NR's visam o cumprimento da legislação brasileira, as NBR's, criadas pela ABNT, servem para padronizar, organizar e qualificar a produção de documentos e/ou procedimentos, facilitando o entendimento e compreensão geral destas padronizações. (Kovacs, 2022)

- Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção (NR 18): estabelece diretrizes de ordem administrativa, de planejamento e de organização, que objetivam a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos de segurança nos processos, nas condições e no meio ambiente de trabalho na Indústria da Construção, versando dentre outros sobre o armazenamento de materiais destinados ao trabalho em fachadas e isolamento da área de implementação dos serviços (Ministério do Trabalho e Emprego, 1978); e
- Trabalho em altura (NR 35): estabelece os requisitos mínimos de proteção para o trabalho em altura, envolvendo o planejamento, a organização e a realização. Ou seja,

ela garante a segurança e a saúde dos trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente com trabalhos em altura (Ministério do Trabalho e Emprego, 2012).

Ambas objetivam regulamentar as medidas de proteção que devem ser adotadas pelo empregador e colaborador para garantir a segurança do colaborador na realização de atividades em altura.

## **2.2 A Indústria 4.0 e a Construção Civil**

No sentido tecnológico, os processos construtivos são classificados em: tradicional, convencional e industrializado. O processo tradicional baseia-se no modelo artesanal; o processo convencional trata da divisão de trabalho e a mecanização parcial; e o processo industrializado a mecanização é total.

No Brasil ainda pode ser verificado uma combinação de técnicas tradicionais e convencionais, com as máquinas substituindo o homem nas operações mais pesadas. Entretanto, em 2013 entrou em vigor a Norma de Desempenho – NBR 15.575 (ABNT, 2013), publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A norma disseminou conceitos de gestão da qualidade que propiciou a adoção de novos modelos de organização e inovações tecnológicas em diversas empresas, que atualmente compõem um núcleo dinâmico e moderno com desempenho comparável a empresas europeias e americanas.

Essa norma institui um nível mínimo de desempenho para os elementos principais da obra, ao longo de sua vida útil, com isso, é possível afirmar que a norma de desempenho induz a utilização de sistemas construtivos inovadores (CBIC, 2016).

Segundo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) no atual cenário pode ser observado uma elevação do custo da mão de obra, ocasionada pela maneira desordenada em que o mercado imobiliário cresceu. Em consequência disso, a busca por tecnologias para diminuir o contingente de operários em obra e o custo das obras também aumentou (CBIC, 2016).

De acordo com diversos autores (Pries; Janszen, 1995; Bougrain, 2010; Gambatese; Hallowel, 2011) destacado pela CBIC (2016) a adoção de inovações destaca-se como uma opção viável para melhoria ao atendimento das demandas da construção civil, apresentando diversas vantagens em seu uso, como por exemplo, a redução de custo de mão de obra, o aumento de produtividade, a redução de custo de produção.

Conforme Vargas (1992) o emprego de inovações tecnológicas contribui para melhorar as condições de trabalho, aumentar o ritmo das construções e tirar o melhor proveito da mão de obra visando alcançar o melhor custo-benefício, além de melhorar a qualidade do produto final e ainda contribui significativamente para a qualidade do produto final.

A análise que a CBIC (2016) realizou a respeito dos desafios da engenharia civil identificou como principal resultado a carência de as empresas construtoras incorporarem inovações tecnológicas ao segmento.

Dentre as inovações tecnológicas, algumas estão mais visíveis e sendo discutidas no meio acadêmico, tais como: drones para acompanhamento da obra, tablete e smartphones para controle e execução da obra, equipamentos robotizados para utilização no canteiro de obras, Roff it (software de auxílio ao projeto de cobertura), Tripod Archi (aparelhos medidores que transforma as medições em plantas e maquetes 3D) e o BIM (que permite uma maior precisão e compatibilização dos projetos).

Especialistas, assim como Portugal (2016) garante que mesmo em pequenos projetos de construção, a integração e digitalização oferecem grandes benefícios em redução de falhas, aumento de eficiência e produtividade.

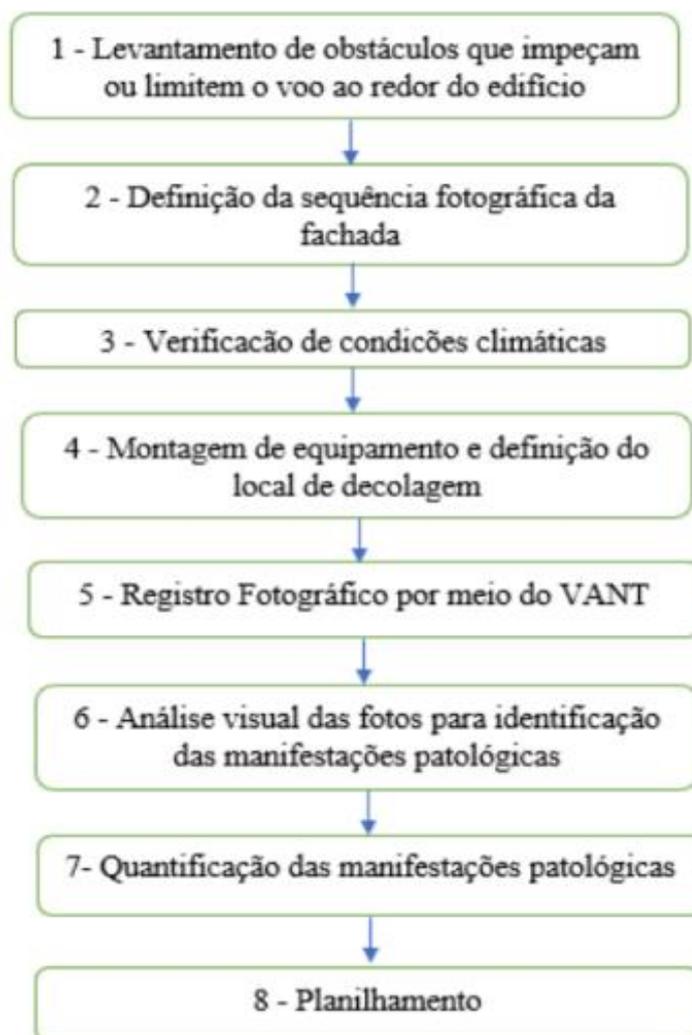
### **2.2.1 Aeronaves remotamente pilotadas**

Segundo (DECEA, 2010 apud Rauber et al., 2018), os VANTs são aeronaves projetadas para voarem sem piloto a bordo e embarcar diferentes tipos de materiais e equipamentos. Para (Valavanis, 2012 apud Silva, 2015) foram desenvolvidos em meados da década de 80, inicialmente com propósitos militares, com o decorrer dos anos esses instrumentos passaram a ganhar espaço em outras áreas. Podemos cogitar também que essa diversificação na sua aplicação é oriunda dos avanços tecnológicos em torno destes equipamentos, com melhorias quanto a bateria, navegação autônoma, tecnologia aeronáutica, câmeras digitais de baixo custo acopladas, dentre outras características que além de tudo os tornam mais confiáveis, seguros, acessíveis e de fácil operação (Liu et al., 2014 apud Ham, 2016).

O método de inspeção de fachadas no contexto da indústria 4.0 tem utilizado bastante o auxílio de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT). Esse método de inspeção constitui-se de 08 (oito) etapas que se inicia com levantamento de obstáculos e culmina no

planilhamento dos resultados (Slosaski, 2021). Na Figura 3 é apresentado o fluxograma das etapas de execução de uma inspeção com drone.

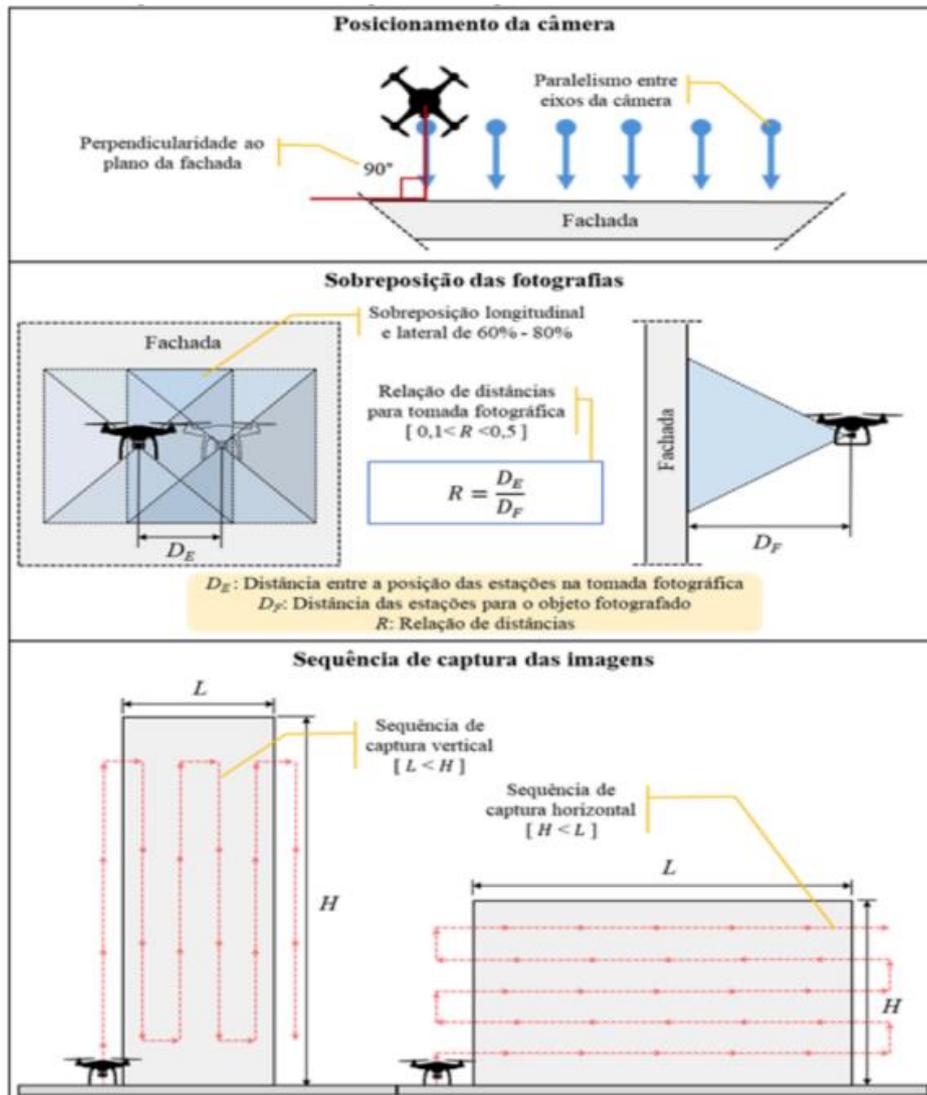
**Figura 3. Etapas da inspeção com VANT**



Fonte: Slosaski (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. Na Figura 4 consta um resumo ilustrativo do protocolo de captura de imagens no processo de inspeção proposto por Ruiz et al. (2021).

Figura 4. Protocolo de captura de imagens de fachada utilizando VANT



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

Percebe-se na Figura 3, que o protocolo e 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, tal como o percentual de sobreposição e a distância entre o VANT e a fachada, são disponibilizadas quando utilizamos esse protocolo.

O uso das chamadas aeronaves remotamente pilotadas, traduzido do inglês Remotely Piloted Aircraft, ou somente RPA, também conhecidas como drones, tem se destacado nas inspeções prediais por se tratar de uma metodologia com alta eficácia, capaz de reduzir o custo e tempo despendidos na realização desta atividade (Aguilar, 2019).

Apesar das aplicações citadas acima, no Brasil, o uso do VANT na indústria da construção civil é limitado (Melo;Costa, 2015), mas possui outras aplicações além da

inspeção predial com o gerenciamento de obras diversas, marketing de vendas e no mapeamento de áreas (Gouveia *et al.*,2021).

A utilização desta ferramenta no processo de inspeção de fachadas tende a ser mais segura quando comparada ao método tradicional, alpinismo industrial, já que na hipótese de queda do 7 equipamento, este por outro lado pode simplesmente ser substituído, o que não pode ser afirmado com relação ao rapel, visto que, a principal ferramenta deste método é o próprio ser humano. Inclusive, a utilização das aeronaves para inspeção vem sendo apontada em cases de sucesso por conta disto, como o promovido pela DroneShow e Mundogeo (2020) onde a realização da inspeção remota por drone, possibilitou que o grupo de profissionais presentes tomassem conhecimento das condições internas do equipamento em total segurança. Antes de se iniciar a operação e colocação em voo de um drone, faz-se necessário observar a legislação vigente e efetuar consultas a:

- Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL): agência responsável pela homologação da aeronave e da frequência emitida e captada pelo controle remoto;
- Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC): agência responsável pelo cadastro da aeronave;
- Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA): departamento responsável pelo cadastramento de pilotos e autorização de missões de voo.
- Ministério da Defesa (MD): ministério a ser consultado para a extração de dados do terreno, também conhecida como aerolevanteamento, ressalvando que para episódios de uso de drones para inspeção predial, não é necessária a autorização do Ministério da Defesa.

Além do citado, algumas regras devem ser seguidas para se obter a posse dos drones, como, a obrigatoriedade de se possuir seguro com cobertura de danos a terceiros, que voos estejam pautados no Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC-E nº 94) e que sigam ainda as Instruções de Comando da Aeronáutica ICA100-40. Outro ponto extremamente importante é que o pedido de acesso ao espaço aéreo tem que ser solicitado através do DECEA em um sistema chamado Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARPAS), onde serão inseridas todas as informações necessárias para a execução do voo, tais como entidade que está realizando o voo; tipografia de voo; coordenadas de decolagem e pouso; data do voo, horário de início e fim do voo; dados do solicitante e do piloto; entre outras informações.

No tocante as tipografias de voos, existem três formatos diferentes para a pilotagem dos drones, sendo eles:

- *Visual Line-Of-Sight (VLOS)*, que significa Linha de Visão, onde o piloto mantém o contato visual com a RPA. Esta é a operação de voo mais realizada, sendo inclusive a utilizada em inspeções prediais;
- *Extended Visual Line-Of-Sight (EVLOS)*, traduzido para o português como Linha de Visão Estendida, onde o piloto mantém contato visual com auxílio de lentes ou de outros equipamentos e de observadores;
- *Beyond Visual Line-Of-Sight (BVLOS)*, em português Além da Linha de Visão, onde o RPA fica fora do alcance visual, mesmo com o auxílio de um observador. Para esta operação é necessário se ter uma licença especial.

Estas operações de voo podem ser melhor compreendidas através da observação da Figura 5.



Fonte: Agência Nacional de Aviação Civil (2017).

Existe ainda um princípio muito utilizado chamado “Princípio da sombra”, que o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (2017) define como sendo “(...) um volume compreendido em uma distância máxima de 30m de obstáculos naturais ou artificiais até o limite vertical da estrutura. Tal volume não é considerado “espaço aéreo”, por não ser possível utilizado por aeronaves tripuladas”. O princípio da sombra é interessante, pois, permite a realização de voos restritos a um raio de 30 metros e com uma altura inferior a 5 metros do objeto de estudo, sem que seja necessário pedir autorização. Na hipótese de inspeção predial, não é necessária autorização de voo na maior parte dos casos, podendo ser utilizado o princípio da sombra.

## 2.2.2 Norma Regulamentadora da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC)

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) aprovou, no dia 02 de maio de 2017 o regulamento especial para utilização de veículos aéreos não tripulados. A norma (Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC –E nº 94) tem por objetivo tornar viáveis as operações desses equipamentos, preservando-se a segurança das pessoas. A instituição das regras também contribuirá para promover o desenvolvimento sustentável e seguro para o setor.

O normativo foi elaborado levando-se em conta o nível de complexidade e de risco envolvido nas operações e nos tipos de equipamentos. Alguns limites estabelecidos no novo regulamento seguem definições de outras autoridades de aviação civil como Federal Aviation Administration (FAA), Civil Aviation Safety Authority (CASA) e European Aviation Safety Agency (EASA), reguladores dos Estados Unidos, Austrália e da União Europeia, respectivamente.

As operações de aeronaves não tripuladas (de uso recreativo, corporativo, comercial ou experimental) devem seguir as novas regras da ANAC, que são complementares aos normativos de outros órgãos públicos como o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). A idade mínima de operação será de 18 anos.

O novo regulamento da ANAC dividiu as aeronaves não tripuladas em aeromodelos, que são drones usados para fins recreativos, e aeronaves remotamente pilotadas (ARP), que são drones utilizados para operações comerciais, corporativas ou experimentais. Os drones de uso comercial, corporativo ou experimental (RPA) foram categorizadas em três classes, conforme o peso máximo de decolagem do equipamento, indo a primeira classe até os 25kg (Classe 3), a segunda (Classe 2) variando de 25kg a 150kg e a terceira (Classe 1) faixa acima de 150kg.

Pela regra geral, os drones com mais de 250g só poderão voar em áreas distantes de terceiros (no mínimo 30 metros horizontais), sob total responsabilidade do piloto operador e conforme regras de utilização do espaço aéreo do DECEA. Caso exista uma barreira de proteção entre o equipamento e as pessoas a distância especificada não precisa ser observada.

É obrigatório possuir seguro com cobertura contra danos a terceiros nas operações de aeronaves não tripuladas de uso não recreativo acima de 250g (exceto as operações de aeronaves pertencentes a entidades controladas pelo Estado). Para pilotar aeronaves não

tripuladas RPA, os pilotos remotos e observadores (que auxiliam o piloto remoto sem operar o equipamento) devem ter no mínimo 18 anos. Para pilotar aeromodelos não há limite mínimo de idade.

O cadastro dos drones (aeromodelos ou RPA Classe 3) deve ser feito pelo Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT) da ANAC. O número de identificação gerado na certidão de cadastro deve estar acessível na aeronave ou em local que possa ser facilmente acessado. Os voos com aeromodelo e RPA Classe 3 não precisam ser registrados. O voo com as demais aeronaves não tripuladas deve ser registrado.

Operadores de aeromodelos e de aeronaves RPA de até 250g são considerados licenciados, sem necessidade de possuir documento emitido pela ANAC desde que não pretendam usar equipamento para voos acima de 400 pés. Serão 18 obrigatórias licença e habilitação emitidas pela ANAC apenas para pilotos de operações com aeronaves não tripuladas RPA das classes 1 (peso máximo de decolagem de mais de 150 kg) ou 2 (mais de 25 kg e até 150 kg) ou da classe 3 (até 25 Kg) que pretendam voar acima de 400 pés.

Pilotos remotos de aeronaves não tripuladas RPA das classes 1 (mais de 150 kg) e 2 (mais de 25 kg e até 150 kg) deverão possuir ainda o Certificado Médico Aeronáutico (CMA) emitido pela ANAC ou o CMA de terceira classe do DECEA.

Os órgãos de segurança pública farão a fiscalização nas esferas civil e penal. Casos de infrações configuradas como contravenção penal ou crime serão tratados por esses órgãos. Outros órgãos farão a fiscalização em concordância com os aspectos relacionados às suas competências, como utilização do espaço aéreo (DECEA) e de Radiofrequência (ANATEL).

Entre os modos de operação de Voo, temos a operação BVLOS (operação na qual o piloto não consegue manter o Drone dentro de seu alcance visual, mesmo com o auxílio de um observador), operação VLOS (operação na qual o piloto mantém o contato visual direto com o Drone sem auxílio de lentes ou outros equipamentos) e operação EVLOS (operação na qual o piloto remoto só tem a capacidade de manter contato visual direto com o Drone com auxílio de lentes ou de outros equipamentos e precisa do auxílio de observadores de Drone).

O Quadro 1 resume os tipos de Aeronaves Remotamente Pilotadas (*Remotely-Piloted Aircraft* ou RPA) em concordância com os fatores elencados acima:

Quadro 1. Resumo da regulamentação da ANAC

	RPAS Classe 1	RPAS Classe 2	RPAS Classe 3	RPAS Classe 4
Registro da aeronave	Sim	Sim	BVLOS: Sim VLOS: Sim	Sim <sup>1</sup>
Aprovação ou autorização do projeto	Sim	Sim <sup>2</sup>	Apenas BVLOS ou acima de 400 pés	Não
Limite de idade para operação	Sim	Sim	Sim	Não
Certificado médico	Sim	Sim	Não	Não
Licença e Habilitação	Sim	Sim	Apenas para operações acima de 400 pés	Apenas para operações acima de 400 pés
Local de operação	A distância da Aeronave não tripulada NÃO poderá ser inferior a 30 metros horizontais de pessoas não envolvidas e não anuentes com a operação. Esse limite não precisa ser observado caso haja uma barreira mecânica suficientemente forte para isolar e proteger as pessoas não envolvidas e não anuentes. Esse limite não é aplicável para operações por órgão de segurança pública, de polícia, de fiscalização tributária e aduaneira, de combate à vetores de transmissão de doenças, de defesa civil e/ou corpo de bombeiros, ou operador a serviço de um destes.			

- 1- Todas as Aeronaves acima de 250 gramas e RPA entre 250 gramas e 25 kg que se destinem a operações na linha de visada visual (VLOS) até 400 pés acima do nível do solo, devem ser cadastradas por meio de ferramenta online no endereço <http://sistemas.anac.gov.br/sisant>
- 2- Para todos os RPAS Classe 2 ou RPAS Classe 3 que se destinam a operações além da linha de visada visual (BVLOS) ou acima de 400 pés, o fabricante pode optar pelo processo de certificação de tipo estabelecido no RBAC nº 32 ou pela autorização de projeto na subparte E do RBAC-E nº 94.

Fonte: Adaptado de ANAC (2017).

Desta forma, podemos trazer alguns benefícios referentes ao uso dos VANT's:

- Eficiência: Os drones podem inspecionar grandes áreas em um curto período, aumentando a eficiência do processo de inspeção.
- Segurança: Elimina a possibilidade de trabalhadores escalarem estruturas elevadas, reduzindo significativamente os riscos de acidentes.
- Acesso a áreas difíceis: Podem acessar áreas de difícil alcance ou locais perigosos, como fachadas altas ou telhados inclinados, proporcionando uma inspeção mais abrangente.

- Documentação Visual: capturaram imagens de alta resolução e vídeos que fornecem uma documentação visual detalhada do estado da fachada, permitindo uma análise mais precisa.
- Redução de Custos: Em comparação com métodos tradicionais de inspeção, a utilização de drones pode reduzir os custos associados à força de trabalho e equipamentos.

No entanto, é importante considerar alguns desafios, como a necessidade de treinamento adequado para operadores de drones, questões legais e regulatórias, como as licenças de voo e privacidade, e a qualidade das imagens capturadas, é possível ser afetadas por condições climáticas adversas ou limitações técnicas dos próprios drones.

### **2.3 Principais patologias em sistemas de fachadas**

As anomalias e falhas constituem não conformidades que impactam na perda precoce de desempenho real ou futuro dos elementos e sistemas construtivos, e redução de sua vida útil projetada. Podem comprometer, portanto: segurança; funcionalidade; operacionalidade; saúde de usuários; conforto térmico, acústico e lumínico; acessibilidade, durabilidade, vida útil, dentre outros parâmetros de desempenho definidos na ABNT NBR 15575. As não conformidades podem estar relacionadas a desvios técnicos e de qualidade da construção e/ou manutenção da construção.

Essas falhas podem ser classificadas em endógenas (originária da própria edificação, como projeto, materiais e execução), exógena (originárias de fatores externos a edificação, provocadas por terceiros), natural (originária de fatores da natureza), funcional (originária da degradação do sistema construtivo pelo envelhecimento natural) e falhas (é possível ser de planejamento, execução, operacional e gerência).

As diversas patologias que ocorrem em uma edificação possuem várias causas ou origens. Para Thomaz (1989) a evolução tecnológica da construção civil e as conjunturas socioeconômicas do Brasil resultaram em obras cada vez mais esbeltas e leves, e realizadas com velocidades cada vez maiores. Tais fatores, atrelados com o despreparo de profissionais, tanto de projeto quanto de produção, e a falta de rigor necessário no controle de materiais e serviços, vêm provocando a queda gradativa da qualidade das construções.

Segundo Bauer (1994) as patologias em revestimentos podem ter as seguintes causas:

- Deficiência de projeto;

- Por desconhecimento das características dos materiais empregados e/ou emprego de materiais inadequados;
- Por erros de execução, seja por deficiência de mão-de-obra, desconhecimento ou não observância de Normas Técnicas; e
- Por problemas de manutenção.

É importante salientar que as superfícies das edificações estão sujeitas a diversos tipos de pressão (estáticas e dinâmicas), o que contribui para o surgimento de patologias. A Figura 6 representa os elementos atuantes nas fachadas dos edifícios.

**Figura 6. Elementos atuantes nas fachadas de edificações**



Fonte: ABCP (2002)

O presente trabalho discute sobre as principais patologias existentes em revestimentos argamassados, cerâmicos, por rochas ornamentais e por pinturas, em fachadas, com foco para os revestimentos argamassados. As patologias provocadas devido à ausência ou incoerência de juntas e aquelas oriundas dos rejuntas serão discutidas juntamente com os revestimentos cerâmicos e rochas ornamentais de fachada, devido à similaridade entre estes componentes.

### **2.3.1 Patologias em revestimentos argamassados de fachada**

A deterioração antecipada dos revestimentos de argamassa é consequência de processos físicos, mecânicos, biológicos e químicos. Porém, essa distinção é apenas didática, pois na prática estes processos frequentemente se sobrepõem e podem atuar simultaneamente. Para Carasek (2007) as patologias sobre as argamassas se manifestam através de efeitos físicos nocivos como a desagregação, descolamento do revestimento, vesículas, fissuração e aumento da porosidade e permeabilidade.

A Figura 7 mostra uma classificação dos processos de deterioração dos revestimentos de argamassa, com exemplos de causas típicas associadas a eles.

**Figura 7. Processo de deterioração de revestimentos argamassados**



Fonte: Carasek (2007).

Conforme a autora, existe outra forma de classificação destes problemas, que seria com relação à origem da fonte causadora. Assim, a deterioração das argamassas pode ser originada tanto por fatores externos ao revestimento como por causas internas à própria argamassa. Sendo assim, podem ser citados como fatores que interferem na durabilidade dos revestimentos argamassados:

- A qualidade dos materiais constituintes da argamassa;

- A composição ou traço da argamassa;
- Os processos de execução;
- Os fatores externos (intempéries, poluição atmosférica, umidade de infiltração, etc).

### **2.3.1.1 Descolamentos**

Bauer (1994) afirma que os descolamentos em revestimentos de argamassa ocorrem de modo a separar uma ou mais camadas dos revestimentos argamassados e apresentam extensão variada. Podem se manifestar com empolamento em placas, ou com pulverulência.

De acordo com Bauer (1994), em argamassas de cal, os principais fatores causadores do problema são o uso de produtos não hidratados, a hidratação incompleta da cal extinta, a má qualidade da cal e o preparo inadequado da pasta de cal. Em argamassas mistas, o excesso de cimento costuma ser o principal fator causador de descolamento.

#### **2.3.1.1.1 Descolamento com pulverulência**

Apresenta como sinal mais comum a desagregação e conseqüente esfarelamento da argamassa quando pressionada manualmente. A argamassa se torna friável, ocorrendo descolamento com pulverulência conforme (Bauer, 1997).

Bauer (1997) e Cincotto (1988) afirmam que as principais causas deste tipo de descolamento são o excesso de materiais pulverulentos e/ou torrões de argila no agregado, o traço pobre em aglomerantes ou com cal em excesso e o tempo insuficiente para carbonatação da cal existente na argamassa, principalmente quando é aplicada pintura sobre o revestimento em intervalo inferior a 30 dias.

#### **2.3.1.1.2 Descolamento em placas**

Bauer (1994), alega que no descolamento da argamassa em placas, estas podem apresentar-se endurecidas (difíceis de serem quebradas) ou quebradiças e, em ambos os casos, apresentam som cavo, ao serem percutidas. Este descolamento geralmente ocorre na ligação entre o emboço e a base.

Reunindo as informações de Bauer (1997) e Cincotto (1988) tem-se como as principais causas para esta patologia:

- Argamassa muito rica e/ou aplicada em camada muito espessa;

- Superfície da base muito lisa, impregnada com substância hidrófuga ou impregnada com pó ou outros resíduos;

- Ausência de chapisco ou utilização de chapisco preparado com areia fina;
- Molhagem deficiente da base comprometendo a hidratação do cimento e etc.

O chapisco é imprescindível para que este problema não ocorra, pois proporciona um aumento substancial na aderência da argamassa de revestimento à base, devido as suas características básicas, como o alto teor de cimento e elevada granulometria.

#### **2.4.1.1 Descolamento por empolamento**

Segundo Bauer (1994) a cal é o material que está diretamente associado a esta patologia, portanto ela acontece nas camadas com maior proporção deste constituinte das argamassas. Normalmente o reboco se destaca do emboço, formando bolhas cujo diâmetro aumenta progressivamente. Para Cincotto (1988) as causas prováveis são a infiltração de umidade e a existência de cal parcialmente hidratada na argamassa que, ao se extinguir após ser aplicada, aumenta de volume e se expande.

#### **2.4.1.2 Eflorescência**

Para Gonçalves (2007) as eflorescências são depósitos cristalinos, formados na superfície e no interior de painéis de alvenaria através de cristalização de soluções salinas. Esse fenômeno surge como resultado do processo de evaporação ou variação de temperatura, geralmente acompanhando a presença de umidade.

De acordo com Guimarães (2002) as eflorescências são caracterizadas por depósitos brancos, pulverulentos, normalmente solúveis em água. São compostas por carbonatos (cálcio e magnésio), hidróxido de cálcio, sulfatos (cálcio ou magnésio ou potássio ou sódio), cloretos (cálcio ou magnésio) e nitratos (potássio ou sódio ou amônio). As causas desta patologia são três fatores:

- Teor de sais solúveis nos materiais ou componentes (tijolos, materiais cerâmicos, cimento Portland, água de amassamento, agregados, materiais provenientes da poluição);
- Presença de água para dissolver e carrear os sais solúveis até a superfície do revestimento;
- Pressão hidrostática para propiciar a migração da solução para a superfície.

Ainda conforme Souza (1997) afirma que grande parte das eflorescências são causadas pela ação da água, que após infiltrar nos poros das argamassas, atinge diferentes camadas, reage com íons livres e podem gerar:

- Formação de sais solúveis por capilaridade, em que o vapor de água aflora a superfície trazendo estas formações químicas;

- Corrosão das argamassas devido a exposição por demasiado tempo aos agentes agressivos na poluição, tais como CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>, pela ação dos íons cloro originados pela lavagem dos revestimentos com HCl ou pela ação da umidade do ar em regiões litorâneas, que reagem causando uma deterioração superficial da argamassa.

Ou seja, segundo Carasek (2007), de acordo com o local de cristalização dos sais, o fenômeno pode ser dividido em eflorescência e criptoflorescência. No caso de existir uma rede de capilares bem formada na argamassa endurecida, quantidade de água suficiente para o transporte dos sais e condição de evaporação adequada, os sais irão se cristalizar na superfície do revestimento, recebendo o nome de eflorescência. No caso da criptoflorescência os poros capilares não estão bem conectados, ou seja, não formam uma rede, existe pouca água ou ainda a evaporação é muito intensa, levando, desta maneira, os sais a se depositarem a uma certa distância da superfície. Na prática, ambos são normalmente chamados de eflorescência.

Em conformidade com a autora, o depósito destes sais exerce pressão devido à hidratação e cristalização dos mesmos, culminando na desagregação da argamassa. Caso estes sais se cristalizem na região de interface argamassa substrato, o fenômeno pode resultar no descolamento da camada de revestimento.

Dessa maneira Uemoto (1988) afirma que os depósitos salinos na superfície de alvenarias e revestimentos, são geralmente alcalinos (sódio e potássio) ou alcalinos terrosos (cálcio e magnésio), resultantes da migração de sais solúveis presentes nos materiais de revestimento ou componentes da alvenaria. O autor propõe a classificação da eflorescência em três tipos:

**Tipo I** – é aquele mais comum e caracteriza-se por um depósito de sal branco, muito solúvel em água e pulverulento. Normalmente aparece em superfícies de alvenaria aparente, ou revestidas com argamassa, em juntas de assentamentos, regiões próximas a caixilhos mal vedados, ladrilhos e juntas de ladrilhos cerâmicos e azulejos. Caso o acúmulo de sal ocorra na interface alvenaria/pintura, a película de pintura poderá se destacar. Os principais sais neste caso são os sulfatos de sódio e de potássio, que podem ser provenientes de tijolos, de cimentos, da reação química entre os compostos do tijolo com o



**Tipo III** – não é muito frequente e apresenta-se como um depósito de sal entre juntas de alvenaria aparente, que se encontram fissuradas.

Os sais solúveis do cimento agem como fonte causadora da eflorescência. Cimentos que contenham alto teor de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ) na sua hidratação podem transformar-se em carbonato de sódio e potássio, muito solúveis em água. Outra situação possível é a reação entre o cimento da argamassa que contém hidróxidos alcalinos e os tijolos cerâmicos que possuem sulfato de cálcio, resultando em sulfatos de sódio e potássio.

Dessa maneira, segundo Bauer (1994), os sais mais comuns em eflorescências, as fontes de seu surgimento e a sua solubilidade em água são indicados no quadro 2.

**Quadro 2 – Natureza química das eflorescências**

<b>Composição Química</b>	<b>Fonte Provável</b>	<b>Solubilidade em água</b>
Carbonato de calico	Carbonatação da cal, da argamassa ou concreto e de argamassa de cal não carbonatada	Pouco solúvel
Carbonato de magnésio	Carbonatação da cal lixiviada de argamassa de cal não carbonatada	Pouco solúvel
Carbonato de potássio	Carbonatação dos hidróxidos alcalinos de cimentos com elevado teor de álcalis.	Muito solúvel
Carbonato de sódio	Carbonatação dos hidróxidos alcalinos de cimentos com elevado teor de álcalis	Muito solúvel
Hidróxido de calico	Cal liberada na hidratação do cimento	Solúvel
Sulfato de magnésio	Tijolo, água de amassamento	Solúvel
Sulfato de calico	Tijolo, água de amassamento	Parcialmente solúvel
Sulfato de potássio	Reação tijolo-cimento, agregados, água de amassamento	Muito solúvel
Sulfato de sódio	Reação tijolo-cimento agregados, água de amassamento	Muito solúvel
Cloreto de calico	Água de amassamento	Muito solúvel
Cloreto de magnésio	Água de amassamento	Muito solúvel
Nitrato de potássio	Solo adubado ou contaminado	Muito solúvel
Nitrato de sódio	Solo adubado ou contaminado	Muito solúvel
Nitrato de ammonia	Solo adubado ou contaminado	Muito solúvel

Fonte: Bauer (1994)

### 2.4.1.3 Patologias causadas por umidade

Para Verçosa (1991) a umidade é fundamental para o surgimento de diversas patologias, como: eflorescência, ferrugem, mofo, bolor, descolamento da pintura do reboco e até acidentes estruturais.

As manchas, as fissuras e as desagregações provocadas pela umidade, são as manifestações patológicas mais frequentes nos edifícios, afirma Silva (2007).

Segundo Oliveira, Moreira e Mitidieri Filho (2005), em levantamento realizado pelo IPT no ano de 2004, concluiu que 58% dos problemas patológicos das edificações com um a quatro anos de idade, são causados por umidade. A classificação da umidade em função da sua origem pode ser feita em quatro tipos:

- Umidade proveniente do solo, decorrente da ascensão capilar da água do terreno;
- Umidade de infiltração proveniente da ação da água de chuva (infiltração por fissuras, caixilhos, revestimentos, juntas, entre outros);
- Umidade de condensação, decorrente da condensação superficial ou no interior dos materiais de vapor de água;
- Umidade acidental, proveniente de vazamentos em instalações hidráulicas ou de coleta de água da edificação, falhas localizadas, etc.

#### a) Umidade acidental

Ocorre em razão das falhas nas tubulações, que acabam gerando infiltrações, provocando manchamentos nas paredes.

Conforme Klein (1999) a origem das umidades pode ser encontrada, de acordo com o quadro 3, nos seguintes locais.

**Quadro 3 – Origem da umidade nas construções**

<b>Origens</b>	<b>Presentes em</b>
Umidade ascendente	Terra, através do lençol freático.
Umidade de infiltração	Coberturas Lajes de terraço Paredes
Umidade de condensação	Paredes, forros e pisos Compartimentos com pouca ventilação Banheiros, cozinhas e garagens
Umidade acidental	Paredes Telhados Pisos Terraços

Fonte: Adaptado de Klein (1999)

### **b) Umidade ascendente**

De acordo com Thomaz (1989) a água presente no solo poderá ascender por capilaridade à base da construção se os diâmetros dos poros capilares e o nível do lençol d'água permitirem. Caso não exista uma impermeabilização adequada entre o solo e a base da construção, ela pode chegar aos seus componentes, trazendo problemas a pisos e paredes do andar térreo.

Muller (2010) garante que a umidade ascendente ou ascensional é caracterizada pela presença da água oriunda geralmente do solo absorvida pelas fundações, a qual migra para as paredes e pisos das edificações.

Ainda com base nas afirmações de Bauer (1994) os materiais de construção absorvem água na forma capilar quando estão em contato direto com a umidade, situação que normalmente ocorre com a fachada por exemplo. No transporte da água pelos capilares é importante a velocidade de absorção capilar e a altura de elevação. A velocidade de absorção capilar aumenta para raios de capilares maiores, já a altura de elevação é inversamente proporcional ao raio do capilar. Caso a água seja absorvida permanentemente pelo material de construção em região com contato direto com o terreno e não seja eliminada por ventilação, será transportada paulatinamente para cima através do sistema capilar.

Em vista disso, Silva e Abrantes (2007) dizem que para que ocorra o fenômeno da ascensão capilar é necessário que se verifiquem, simultaneamente, três condições:

- A presença de água;
- A existência de materiais com porosidade capilar;
- A possibilidade de comunicação entre a primeira e os segundos.

Ainda de acordo com os dois autores, o fenômeno da ascensão capilar provoca as seguintes manifestações patológicas nos revestimentos:

- Acúmulo de sais visíveis na superfície da parede;
- Degradação da tinta e dos revestimentos numa faixa de altura variável, geralmente junto à base das paredes do piso térreo; - manchas nos revestimentos interiores na faixa citada;
- Descolamento de revestimentos.

### **c) Umidade de condensação**

De acordo com Muller (2010) esta umidade é produzida quando o vapor de água existente em um local entra em contato com superfícies em temperaturas abaixo do ponto de orvalho formando pequenas gotas de água.

O fenômeno ocorre pela diminuição da capacidade de absorção da umidade pelo ar quando este é resfriado na interface da parede, precipitando-se afirma Queruz (2007).

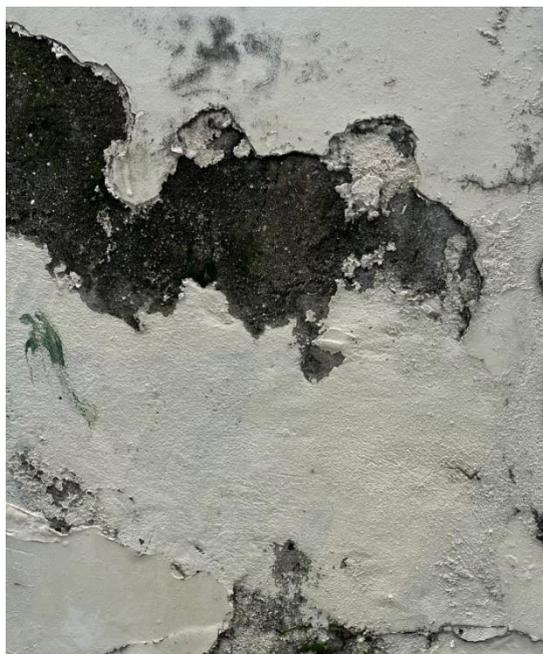
Feilden (2003) apud Muller (2010) acredita que a umidade por condensação é mais danosa que a água da chuva, pois fixa, junto com o vapor partículas em suspensão que podem ser prejudiciais à edificação.

#### **d) Umidade de infiltração**

Segundo Muller (2010) é originada principalmente pela ação da chuva e sua associação com os ventos pode agravar uma série de patologias, variando de acordo com o estado de conservação do edifício, sendo as paredes e coberturas os pontos mais suscetíveis a infiltrações.

Para Petrucci (2000), considera que a orientação da fachada tem papel importante em relação a incidência de chuva, quando esta está associada a ventos. Segundo o autor, as fachadas expostas aos ventos receberão maior quantidade de chuva que aquelas não expostas e que a incidência de chuva não é a mesma em toda a fachada, existindo inicialmente uma incidência maior no topo e nas esquinas de faces expostas. A figura 9 apresenta alguns dos resultados causados pela infiltração no revestimento por pintura.

**Figura 9 - Degradação com descolamento do revestimento devido a infiltração de água na fachada**



Fonte: Autor (2024)

#### 2.4.1.4 Patologias decorrentes de processos biológicos

Queruz (2007) aponta que a bioterização de uma fachada é um fenômeno que pode contar com a presença de microorganismos invisíveis a olho nu, como por exemplo, algas, bactérias, cianobactérias e fungos, que podem causar uma camada indesejada na superfície dos materiais, o biofilme.

Já Muller (2010) complementa que a bioterização pode ocorrer pela assimilação de compostos do próprio material, pelo microorganismo ou pela excreção de produtos agressivos, durante a sua reprodução, como ácidos.

Vale ressaltar que segundo Saad (2003) os fatores principais que influenciam o crescimento e desenvolvimento de microorganismos nas construções são: umidade, falta de ventilação, utilização que se dá na edificação, qualidade do ar interno, condições térmicas, ar externo, variações sazonais, temperatura, microclimas internos, projetos de construção, tipos de materiais utilizados nas construções, tipo de acabamentos, distribuição geográfica, materiais orgânicos, ocupação, manutenção e gerenciamento.

Percebe-se que a maioria dos fatores mencionados estão relacionados a umidade e temperatura, podendo ser resolvidos ou reduzidos na fase de projeto, com princípios de ventilação e iluminação.

Ainda de acordo com Allsopp (1986) *apud* Uemoto, Agopyam e Brazolin (1999), os fungos são os principais agentes de degradação dos revestimentos superficiais de fachadas, pois possuem boa adaptação a meios estressantes tais como baixa umidade, variações bruscas de temperatura e quantidade mínima de nutrientes para sua alimentação.

Segundo Shirakawa *et al.* (1995), os fungos são organismos nucleados, que por possuírem clorofila, não podem fotossintetizar seu alimento. São heterotróficos, ou seja, necessitam de compostos orgânicos pré-elaborados.

Conforme a autora o termo “bolor” é utilizado para designar o crescimento de fungos filamentosos sobre um dado substrato, causando manchas geralmente escuras de tonalidade preta, marrom e verde. Em menor frequência aparecem as manchas claras esbranquiçadas ou amareladas. A figura 10 apresenta variados tipos de “bolor”.

**Figura 10 - Edificação com diversos tipos de bioterização**



Fonte: autor (2024)

#### **2.4.1.5 Trincas e fissuras**

A ABNT NBR 9575:2010 classifica as aberturas maiores que 0,5 mm e menores que 1 mm como trincas, as aberturas maiores que 0,05 mm e menores que 0,5 mm como fissuras e as menores que 0,05 mm como microfissuras.

De acordo com Thomaz (1989) destaca que dentre as inúmeras patologias que atingem uma edificação, as trincas e fissuras merecem destaque por três motivos: podem ser o aviso de um eventual estado perigoso para a estrutura, comprometem o desempenho da obra em serviço (estanqueidade à água, durabilidade, isolamento acústico, etc) e o constrangimento psicológico que a fissuração do edifício exerce sobre seus usuários.

Ainda segundo com Thomaz (1989) o surgimento de trincas e fissuras pode estar associado aos seguintes fenômenos:

- Movimentações térmicas;

- Movimentações higroscópicas;
- Atuação de sobrecargas;
- Deformabilidade excessiva das estruturas;
- Recalques diferenciais de fundação ou movimentos da fundação;
- Retração de produtos à base de cimento;
- Alterações químicas de materiais.

A seguir será abordado o surgimento de trincas e fissuras devido a estes fenômenos, exceto devido a deformabilidade excessiva das estruturas e por alterações químicas de materiais.

#### **a) Fissuras causadas por movimentação térmica**

Segundo Ferreira (2010) todos os materiais estão sujeitos a dilatações com o aumento de temperatura e a contrações com a diminuição da mesma. A intensidade desta variação dimensional, dada uma certa temperatura, varia de acordo com o material.

Ainda em conformidade com Cincotto, Silva e Carasek (1995) a movimentação térmica ocorre devido às variações de temperatura sazonais e diárias, e à radiação incidente sobre os revestimentos externos. Este fenômeno caracteriza-se por mudanças dimensionais, cuja intensidade e amplitude dependem do coeficiente de dilatação térmica da argamassa, das variações de umidade relativa e da ação de forças externas. As tensões geradas por estas movimentações podem ser de compressão ou tração, considerando que o movimento pode ser de expansão ou de retração.

Para Thomaz (1989), as fissuras em argamassas de revestimento, provocadas por movimentações térmicas das paredes, dependem principalmente do módulo de deformação da argamassa, sendo desejável que a capacidade de deformação do revestimento supere com folga a capacidade de deformação da parede propriamente dita.

Segundo o autor as fissuras induzidas por movimentações térmicas no revestimento, normalmente são regularmente distribuídas e com aberturas bem reduzidas (espécie de gretagem).

#### **b) Fissuras causadas por movimentação higroscópica**

A movimentação higroscópica acontece quando existe movimentação de água ou umidade no interior dos materiais, ocorrendo por variados mecanismos de transporte.

Thomaz (1989), também alega que a quantidade de água absorvida por um determinado material de construção depende de dois fatores: porosidade e capilaridade. O fator mais importante é a capilaridade, que na secagem de materiais porosos, provoca o aparecimento de forças de sucção, responsáveis pela condução da água até a superfície do componente, onde ela é posteriormente evaporada.

De acordo com o autor, quanto menor a espessura dos poros, maior será o poder de sucção. O material, ao ter seus poros preenchidos com água, aumenta de volume, e diminui à medida que perde água por evaporação. O resultado desta expansão e contração por higroscopicidade, pode causar a fadiga do material, causando fissuras similares às decorrentes de variação térmica, como mostram as figuras 11 e 12.

**Figura 11 - Fissuras decorrentes da retração da argamassa provocada pela falha da pintura e exposição contínua da parede a água da chuva**



Fonte: Autor (2024)

**Figura 12 - Fluxo de água interceptado no peitoril da janela onde escorre lateralmente, provocando a fadiga do reboco desenvolvendo sua fissuração**



Fonte: Autor (2024)

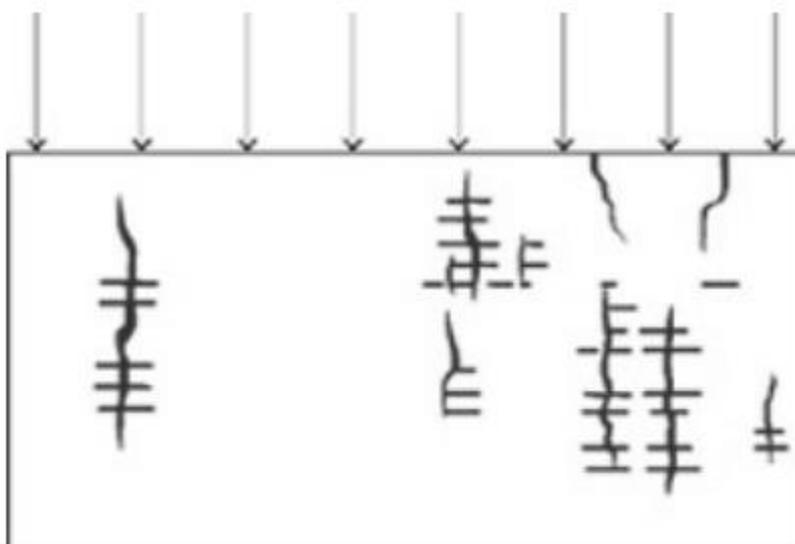
### c) Fissuras causadas por atuação de sobrecargas

Trata-se de solicitações externas, previstas ou não em projetos, que são capazes de provocar fissuras em um componente estrutural ou até mesmo de vedação (Thomaz, 1989). Podem se manifestar nas fachadas em função dos esforços de compressão e de flexão (Silva, 2007).

O surgimento de fissuras devido a atuação de sobrecargas não implica necessariamente em ruptura do componente ou instabilidade da estrutura, pois acontece uma redistribuição de tensões ao longo do componente fissurado e mesmo nos componentes vizinhos, de forma que a solicitação externa normalmente acaba sendo absorvida de forma globalizada pela estrutura ou parte dela (Thomaz, 1989).

As configurações típicas das fissuras causadas por sobrecarga são apresentadas na figura 13.

**Figura 13 - Fissura típica de alvenaria causada por sobrecarga vertical**



Fonte: Thomaz (1989)

### d) Fissuras causadas por movimentos da fundação

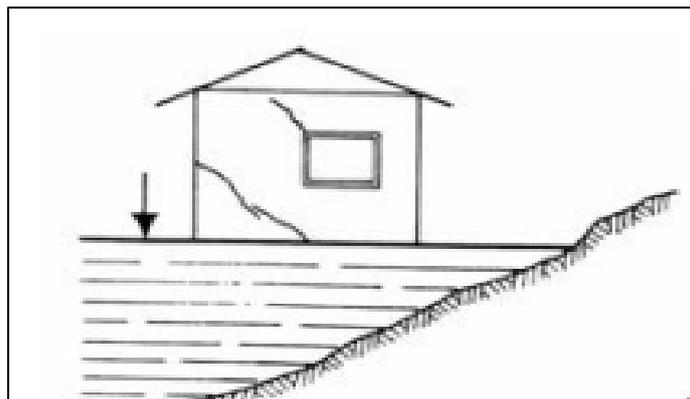
Segundo alguns autores como Thomaz (1989) e Helene (1993) as trincas e fissuras causadas por movimentos da fundação são as mais preocupantes, pois indicam problemas com as fundações das edificações.

Ainda segundo Thomaz (1989), de maneira geral, estas trincas e fissuras são inclinadas, assemelhando-se algumas vezes aquelas provenientes da deflexão de componentes estruturais, mas geralmente são maiores, “deitando-se” em direção ao ponto onde ocorreu o maior recalque. As figuras 14 e 15 apresentam dois exemplos de situações que podem causar movimentos na fundação e conseqüentemente ocasionar trincas e fissuras.

Os principais fatores que causam recalques de fundações, conforme o autor, são:

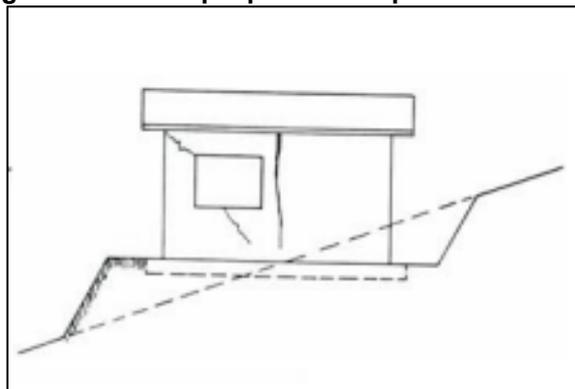
- O tipo e estado do solo
- Disposição do lençol freático;
- Intensidade da carga, tipo de fundação e cota de apoio;
- Dimensões e formato da placa carregada;
- Interferência de fundações vizinhas.

**Figura 14 - Recalque provocado geralmente em solo pouco compactado**



Fonte: Thomaz (1989)

**Figura 15 - Recalque provocado por corte e aterro**



Fonte: Thomaz (1989)

#### **e) Fissuras causadas por retração de produtos à base de cimento**

A retração é um fenômeno que ocorre nas argamassas quando existe uma diminuição de seu volume devido à perda de água para o meio e para o substrato, por evaporação ou sucção. Este fenômeno pode ser influenciado pela velocidade da perda de água, seja pela ação do sol ou dos ventos, quantidade e espessura das camadas de revestimento argamassado e de acordo com sua aderência com a base afirma Silva e Fortes (2008).

Segundo Neville (1997), afirma que a pasta de cimento pode sofrer uma diminuição de volume da ordem de 1% do volume absoluto do cimento seco e que a retração é maior

de acordo com o aumento do teor de cimento na mistura e menor com a diminuição da relação água/cimento.

De acordo com Carasek (2007), a retração é resultado de um mecanismo complexo, que está associado com a variação de volume da pasta aglomerante e possui papel fundamental no desempenho das argamassas aplicadas, principalmente se tratando de estanqueidade e durabilidade.

Para Veiga (1998), os rebocos, como todas as argamassas, sofrem variações dimensionais por retração desde o momento em que são aplicados até a estabilização, que ocorre aproximadamente até os 28 dias de idade. Essas variações, provocadas por um conjunto de fenômenos físico-químicos ao nível da fase evolutiva da argamassa, são restringidas pela fase estável (os inertes) e principalmente, pelo suporte ao qual o revestimento está aderido, que é extremamente rígido.

Conforme Thomaz (1989), a função da trabalhabilidade necessária, os concretos e as argamassas são preparados com água em excesso, o que vem acentuar a retração. Na realidade, é importante diferenciar os três tipos de retração de um produto à base de cimento:

- Retração química: acontece com redução de volume, pois a água combinada quimicamente (22 a 32%) sofre uma contração de aproximadamente 25% de seu volume original;

- Retração de secagem: a quantidade excedente de água, utilizada na preparação do concreto ou argamassa, permanece livre no interior da massa, evaporando-se posteriormente e produzindo, conseqüentemente, a redução do seu volume;

- Retração por carbonatação: a cal hidratada liberada nas reações de hidratação do cimento reage com o gás carbônico presente no ar, resultando em carbonato de cálcio, o que também causa uma redução de volume da argamassa ou concreto.

Segundo Joisel (1975) apud Silva (2007) descreve importantes fatores que interferem diretamente nos produtos à base de cimento, enfatizando os seguintes:

- Quanto maior a finura do cimento, maior a retração;
- Quanto maior a quantidade de cimento na mistura, maior será a retração;
- Quanto maior a finura dos agregados, maior será a retração;
- Quanto maior for a relação água/cimento, maior será a retração.

#### **2.4.2 Patologias em revestimentos cerâmicos de fachada (RCF)**

As patologias incidentes nos RCF podem apresentar-se de maneiras distintas, mas todas impossibilitam o cumprimento das finalidades para as quais foram concebidos, atuando diretamente sobre o desempenho dos mesmos. As consequências podem ir desde problemas estéticos à riscos de acidentes com pessoas, substancialmente agravados pela altura dos edifícios.

A seguir, serão descritas as manifestações patológicas mais associadas aos RCF.

#### **2.4.2.1 Destacamentos ou descolamentos**

Essas patologias são consideradas mais sérias se tratando dos RCF, devido a probabilidade considerável de acidentes e os custos necessários para seus reparos.

Conforme Roscoe (2008) e Almeida (2012), os destacamentos ou descolamentos são caracterizados pela perda de aderência entre as placas cerâmicas e a argamassa colante ou entre a argamassa colante e a base, devido a tensões surgidas que ultrapassam a capacidade de aderência. O primeiro sinal apresentado por esta patologia é a ocorrência de um som cavo nas placas cerâmicas (quando percutidas).

Além da ausência de juntas de assentamento entre as placas cerâmicas, que resulta em esforços extremamente elevados, impossíveis de serem absorvidos pelas mesmas, o surgimento de tensões podem ocorrer, de acordo com Chaves (2009), devido a:

- Retração da argamassa de assentamento, que muitas vezes possui uma relação A/C elevada ou é muito espessa;
- Deformações devidas a variações de umidade que afetam as argamassas endurecidas;
- Deformações geradas pela infiltração de água nas fachadas;
- Dilatações devido a variações de temperatura;
- Deformação da estrutura.

Dentre as principais causas deste problema, que costuma ocorrer nos primeiros e últimos andares do edifício, estão: a excessiva dilatação higroscópica do revestimento cerâmico, variações higrotérmicas e de temperatura, ausência de detalhes construtivos como contravergas e juntas de dessolidarização e erros de especificação de materiais e executivos.

#### **2.4.2.2 Deterioração das juntas**

Verifica-se que ocorre este problema quando há perda de estanqueidade das juntas, devido, na maioria dos casos, a procedimentos de limpeza inadequados e envelhecimento do material de preenchimento (argamassa de rejuntamento).

Existe a possibilidade também da junta estar preenchida apenas superficialmente, que é mais comum em juntas muito estreitas.

A consequência da deterioração das juntas é um comprometimento do RCF como um todo, podendo surgir trincas e fissuras, infiltrações, eflorescências e até mesmo destacamentos das placas.

### **2.4.2.3 Eflorescência**

A eflorescência em revestimentos cerâmicos normalmente é oriunda da presença de substâncias solúveis nos componentes das alvenarias, nas argamassas de regularização e assentamento, que chegam até o revestimento cerâmico por falhas de impermeabilização e rejuntamento.

Para Barros e Sabbatini (2001), existem algumas providências capazes de restringir o aparecimento da eflorescência, já que é bastante difícil garantir sua total eliminação, são elas:

- Redução do consumo do cimento Portland na argamassa de regularização;
- Utilização de componentes cerâmicos para revestimento de qualidade garantida e isentos de umidade residual;
- Garantir o tempo necessário para completa secagem de cada camada constituinte do subsistema revestimento;
- Evitar o uso de ácido clorídrico, ou utilizá-lo em concentrações mais fracas durante a limpeza do revestimento logo após a execução do rejunte.

Ainda segundo Barros e Sabbatini (2001), a simples lavagem da superfície do revestimento é capaz de remover a eflorescência, mas não garante o seu não retorno. Ao longo do tempo, os sais vão sendo eliminados, tendendo ao desaparecimento do fenômeno.

### **2.4.2.4 Trincas, fissuras e gretamento**

A principal característica destes fenômenos é a perda da integridade da superfície do RCF, em alguns de seus componentes expostos, as placas ou as juntas. Quando acontecem geram o descolamento da placa do substrato segundo Almeida (2012).

As trincas são aberturas maiores que 0,5 mm e menores que 1 cm e, conforme Roscoe (2008), são rupturas provocadas por esforços mecânicos, como a tração axial, a compressão axial ou excêntrica, flexão, cisalhamento ou torção, que causam a separação da placa em diversas partes.

As fissuras são aberturas maiores que 0,05 mm e menores que 0,5 mm que não são capazes de provocar rompimento nas placas. Geralmente são resultantes de falhas construtivas, como a inexistência de juntas.

O gretamento é formado por uma série de aberturas menores que 1 mm que ocorrem na superfície esmaltada das placas cerâmicas, sendo a expansão por umidade um dos responsáveis mais comuns de acordo com Roscoe (2008).

Conforme a autora, o surgimento de trincas e fissuras podem estar associados ao revestimento insuficiente da estrutura de concreto, a variações de temperatura e a erros de especificação de juntas e detalhes construtivos equivocados.

### **2.4.3 Patologias em rochas ornamentais de fachadas**

As manifestações patológicas incidentes em rochas ornamentais de fachadas vão desde problemas estéticos, como as mudanças de coloração até problemas mais sérios, que podem colocar em risco a integridade física das pessoas, que é o caso de falhas na aderência.

Tais problemas estão relacionados a propriedades intrínsecas à própria pedra como (composição mineralógica, porosidade, resistência, textura) e causas extrínsecas, que dependem do ambiente onde o revestimento se encontra (temperatura, fatores biológicos, posição do revestimento na fachada, dentre outros).

#### **a) Falhas na aderência**

Para Branco (2010), quando a aderência não é suficiente para suportar as solicitações impostas às placas presentes na fachada, acontece a ruptura do sistema de ancoragem do revestimento, sendo diversas suas possíveis causas, como a técnica de aplicação, temperatura, dilatação e argamassas inadequadas.

Segundo o mesmo autor, a utilização de placas de rochas ornamentais (de elevado peso e baixa porosidade) solicita das argamassas colantes ou argamassas de cimento e areia, alto desempenho, pois submete o elemento de aderência a altos esforços cortantes e cargas de arrancamento. Por outro lado, as argamassas de cimento utilizadas no assentamento do revestimento possuem resistência intimamente ligada ao teor de aglomerante, que por ser obrigatoriamente rico para as condições impostas pelo peso do

revestimento, resulta em tensões de retração elevadas, cujo alívio é extremamente reduzido pela aderência ao substrato e às placas de revestimento. Devido a baixa deformabilidade das argamassas ricas, as tensões tendem a causar sua fissuração e/ou desprendimento do substrato ou da placa.

### **b) Fissuração**

Reunindo os conhecimentos de Chaves (2009) e Branco (2010), determina-se que as fissuras podem ocorrer em função de:

- Dilatações e contrações devido às variações de temperatura, associadas ao elevado coeficiente de dilatação térmica das placas e restrição imposta por juntas indeformáveis;

- Atuação de sobrecargas;
- Presença de umidade;
- Movimento de fundações;
- Vibrações produzidas por trânsito;
- Descontinuidade entre a camada de revestimento e substrato.

### **c) Mudanças de coloração**

Para Branco (2010), elas podem ocorrer devido a diversas causas, como por exemplo:

- Desgaste e/ou lixiviação de minerais pela ação de intempéries e principalmente por agentes de limpeza agressivos (ácido muriático);
- Deposição de sujeira na superfície das placas que pode causar aspecto encardido;
- Amarelecimento em função de aplicação de produtos impermeabilizantes;
- Manchas por umidade, devido a dilatação higroscópica.

## **2.4.4 Patologias em revestimentos de fachada por pintura**

As manifestações patológicas em revestimentos de pintura podem ocorrer em duas fases distintas, após a aplicação do revestimento e durante a sua utilização. Porém, antes da aplicação de qualquer tinta, deve ser verificado se o produto apresenta boas condições para utilização de acordo com Chaves (2009).

A seguir serão apresentadas, simultaneamente, as patologias que podem surgir após a aplicação do revestimento ou durante sua utilização.

### **a) Baixa resistência às manchas**

Ocorre quando a tinta não apresenta resistência considerável contra o acúmulo de sujeiras e manchas. Sua ocorrência normalmente está associada a utilização de tintas de baixa qualidade, que apresentam alta porosidade ou à aplicação da tinta sem que a superfície esteja corretamente selada conforme Polito (2006).

### **b) Calcinação**

Polito (2016), afirma que trata-se da formação de finas partículas, semelhantes a um pó esbranquiçado, sobre a superfície pintada exposta ao tempo, causando o desbotamento da cor. Ainda que algum desbotamento seja normal, devido ao desgaste natural, em excesso pode causar extrema calcinação. Pode ser causado por tintas de má qualidade ou quando tintas indicadas para uso interno são utilizadas em superfícies externas.

### **c) Crateras/Espumação**

Segundo Polito (2006) as crateras surgem do rompimento de bolhas causadas pela espumação. Dentre as principais causas pode-se citar a utilização de tintas de baixa qualidade ou muito velha, o uso de rolo com comprimento de pêlo inadequado, a agitação da lata de tinta parcialmente cheia, dentre outros (Polito, 2006).

### **d) Descamação**

De acordo Polito (2006) descamação é a ruptura na pintura causada pelo desgaste natural do tempo, o que resulta em um comprometimento total da superfície. Santos (2013) complementa que a descamação também ocorre quando se aplica a tinta em superfícies pulverulentas ou que tiveram aplicação de cal, dificultando sua aderência à base.

### **e) Descolamento**

Santos (2013) afirma que acontece na repintura de superfícies, que devem estar em boas condições para receber novas demãos de tinta.

### **f) Desbotamento**

Polito (2006) informa que trata-se de um clareamento prematuro ou excessivo da cor original da tinta. Ocorre principalmente em superfícies com exposição constante ao sol e pode ser resultado da calcinação.

### **g) Eflorescência/Manchas**

Para Polito (2006) aspereza e depósitos de sais brancos que provocam manchas na superfície. A causa mais comum é a umidade, mas também ocorre devido ao vapor.

Nas paredes exteriores de fachadas de edifícios, normalmente, aparecem em zonas sujeitas à ascensão capilar e com presença de umidade (Chaves, 2009).

As manchas também podem ser causadas por utilização de rolos inadequados ou poluição atmosférica.

### **h) Encardimento da superfície**

Ainda segundo Polito (2006) é caracterizado pelo acúmulo de sujeira, poeira e outros fragmentos sobre a superfície pintada e é muitas vezes confundido com bolor. Suas principais causas são a utilização de tintas de baixa qualidade e devido a ação de agressores externos como a poluição, que acelera o processo de encardimento da superfície.

### **i) Enrugamento**

Santos (2013) orienta que as ondulações e rugas são formadas principalmente quando é aplicada uma demão muito espessa ou quando a superfície não está totalmente seca e é exposta a uma umidade muito alta.

### **j) Saponificação**

Ainda em conformidade com Santos (2013) a saponificação ocorre devido a alcalinidade natural da cal e do cimento que compõe o reboco. Para evitá-la, deve-se esperar cerca de 28 dias para pintar o reboco, que é o tempo necessário para que ele esteja totalmente seco e curado.

### **k) Surgimento de bolhas**

Polito (2006) afirma que este problema geralmente é resultante de perda localizada de adesão e levantamento do filme da superfície. Caso nem todas as bolhas abaixem, elas devem ser removidas, raspando e lixando a região, se todas abaixarem, a fonte de umidade deve ser descoberta e eliminada.

A movimentação natural da estrutura da edificação e a expansão do concreto podem ser os responsáveis pelo aparecimento de trincas na superfície externa das edificações. Segundo Polito (2006), tintas de alta qualidade reduzem a tendência a esse problema, por possuírem alta concentração de conteúdos sólidos.

### 3. METODOLOGIA

De acordo com Moresi (2003) a metodologia científica é entendida como um conjunto de etapas ordenadamente dispostas que você deve vencer na investigação de um fenômeno. Inclui a escolha do tema, formulação de hipótese, planejamento da investigação, o desenvolvimento metodológico, a coleta, a tabulação de dados, análise, interpretação e a exposição dos resultados científicos.

Segundo Ubirajara (2013), uma pesquisa, quanto aos meios, pode ser: documental, bibliográfica, de campo, de observação participante, pesquisa-ação, dialética, experimental (e suas variantes) ou laboratorial, entre outras categorias, conforme o assunto de interesse ou a instrumentalização viabilizada.

O presente trabalho foi construído embasado no método de levantamento sistemático de literatura objetiva revisar uma ampla pesquisa, analisando a quantidade de publicações, em relação ao ano e local publicado. Podem ser artigos, monografia, pesquisa de campo, pesquisa em base de dados, utilizando filtros para poder selecionar corretamente os tipos de trabalhos.

A pesquisa documental é aquela em que os dados obtidos são estritamente provenientes de documentos, é um procedimento que se utiliza de métodos e técnicas para a apreensão, compreensão e análise de documentos dos mais variados tipos (Kripka, 2015).

A realização da pesquisa foi uma ação essencial para realização deste trabalho, podendo interferir na busca por definições e estudos sobre o tema proposto, visando assim, explorar novas ideias no que diz a respeito a comparação entre método de inspeção tradicionais e da indústria 4.0. Dito isto, a pesquisa possui caráter qualitativo com a finalidade de identificar as possíveis patologias em fachadas de edifícios residenciais, utilizando as técnicas mencionadas anteriormente.

Segundo Rafaela Frankenthal (2022) a amostra de uma pesquisa é um recorte sociodemográfico que permite entender o comportamento de uma população por meio de uma parcela dela. É por meio dela que conseguimos acompanhar dados, preferências, comportamentos e até opiniões de uma população inteira com base em uma amostra do mesmo.

Nesse sentido para dar embasamento no trabalho utiliza-se de normas brasileiras, citações, imagens, pesquisas de especialistas sobre o assunto, análise de trabalhos realizados, principalmente no Google Acadêmico, mas também em sites de Universidades Federais. O Levantamento dos dados foram a partir do ano de 2018, até maio de 2024.

A metodologia partiu seguiu duas etapas principais: (1) Levantamento de publicações para obter informações conceituais, dados e esclarecimentos acerca das técnicas de inspeção de fachadas apresentadas; e (2) Caracterização do mercado atual para a indústria da construção civil no Brasil, observando as vantagens e desvantagens de cada uma das técnicas e como cada uma contribui na qualidade da execução e do resultado final em obras civis.

Para tal baseou-se em apontamentos realizados por alpinista industrial, também chamado de inspetor, com treinamento certificado na Norma Regulamentadora Nº 35 – Trabalho em Altura e o segundo método baseado no levantamento fotográfico realizado por meio de VANT (veículo aéreo não tripulado), também conhecido como “drone” com processamento das imagens para medição de parâmetros realizado com software.

Em vista do que foi mencionado no referencial, o trabalho também buscou identificar os processos que regem o atual uso de VANTs no Brasil, a norma regulamentadora desenvolvida pela ANAC para a operação destes veículos. Vamos abordar também a inspeção predial, seja na fase de construção ou após encerrada a obra, para colher informações que possam gerar um relatório que irá auxiliar o profissional de gerenciamento de projetos no processo de garantir e controlar a qualidade do projeto. A possibilidade de utilizar VANTs para a obtenção de imagens ao invés de expor o profissional da construção civil a riscos também será tratada neste trabalho, uma vez que, após capturadas as imagens e trabalhadas digitalmente, as mesmas podem ser utilizadas para fundamentar algum relatório ou perícia.

A coleta de dados durante a pesquisa foi feita entre os meses de janeiro e abril 2024, consiste em realizar levantamentos de referências já investigadas e publicadas em artigos, livros e sites acadêmicos, possibilitando compreender informações que já foram estudadas sobre o tema abordado, tendo como foco e detalhamento mais preciso as manifestações patológicas em fachadas.

Esses dados auxiliaram a distinguir os principais mecanismos que serviram para análise e resultados do tema proposto, além de mencionar uma relação da origem da patologia e em todas as etapas de vida, nesse sentido sugere-se uma mudança de cultura para mitigar a quantidade de problemas que vem acontecendo, e dessa maneira, as novas gerações não vim replicar as más práticas vigentes.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse trabalho, foram discutidas as vantagens da utilização do VANT como ferramenta agregadora de valor no processo da inspeção predial, foi possível mensurar os ganhos em qualidade de imagem, tempo de execução, segurança e facilidade de acesso e o custo-benefício do uso do VANT.

A partir da metodologia adotada no processo de inspeção, podemos mostrar ganhos importantes proporcionados pelo uso dos VANT'S. Por meio de câmera acoplada ao VANT, podemos captar vídeos que uma vez descarregado no computador é separado em várias imagens e processado para trabalhar da melhor maneira o requisito a ser atendido. Filtrar os dados, diminuir vibrações e compactar as imagens podem fazer com que se trabalhe de maneira melhor os dados obtidos e então podemos encaminhar aos clientes. Estas imagens podem conter os dados mais diversos e aplicabilidades diversas na construção civil. Imagens em alta resolução podem fornecer dados como estado de fissuras, coleta de imagens para a entrega da obra, relatório fotográfico, auditoria, vistoria cautelar, fiscalização da obra, etc.

A facilidade de locomoção horizontal e vertical e a capacidade de se manter parado no ar, fez com que o VANT, além de acessar a fachada de forma facilitada, e obtiver imagens com extremo detalhamento, auxiliando o profissional de engenharia a detectar as mais variadas patologias na estrutura.

Com base nas pesquisas obtidas, fica evidenciado que o uso do VANT trata-se de uma tecnologia inovadora no processo de inspeção da construção civil, que atende as necessidades do cliente com custo acessível e mais seguro e vem se consolidando no mercado para auxiliar no dia a dia dos profissionais.

### 4.1 Análise bibliométrica no tempo

Para esse primeiro momento dos resultados foram feitas 03 pesquisas diferentes aos 02 (dois) dos maiores bancos de dados de pesquisa da atualidade: o Google Acadêmico e a Biblioteca Nacional de Teses e Dissertações (BNTD) com os seguintes termos:

- Patologias veículos não tripulados;
- Patologias construção civil veículos não tripulados; e
- Patologias fachadas veículos não tripulados.

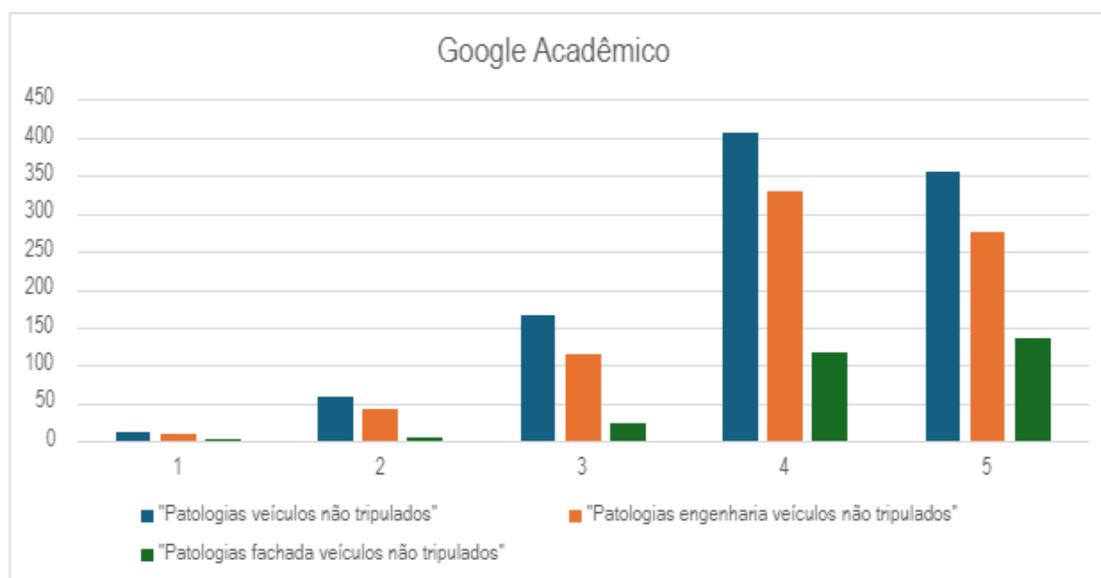
O intuito dessa pesquisa foi analisar a evolução no quantitativo de produções acadêmicas sobre o tema, correlacionando o mesmo com a evolução da implementação dessa

tecnologia na indústria da construção civil. Os resultados estão apresentados nos Quadros 4 e 5 e respectivos Gráficos 1 e 2, para o Google Acadêmico e BNTD respectivamente.

**Quadro 4. Distribuição temporal das pesquisas sobre o uso de veículos não tripulados no Google Acadêmico**

Termos pesquisados	Intervalo de tempo				
	(1) 2001 a 2005	(2) 2006 a 2010	(3) 2011 a 2015	(4) 2016 a 2020	(5) 2021 a 2024
"Patologias veículos não tripulados"	12	58	167	407	356
"Patologias engenharia veículos não tripulados"	9	43	114	330	277
"Patologias fachada veículos não tripulados"	2	6	24	117	137

**Gráfico 1. Distribuição temporal das pesquisas sobre o uso de veículos não tripulados no Google Acadêmico**

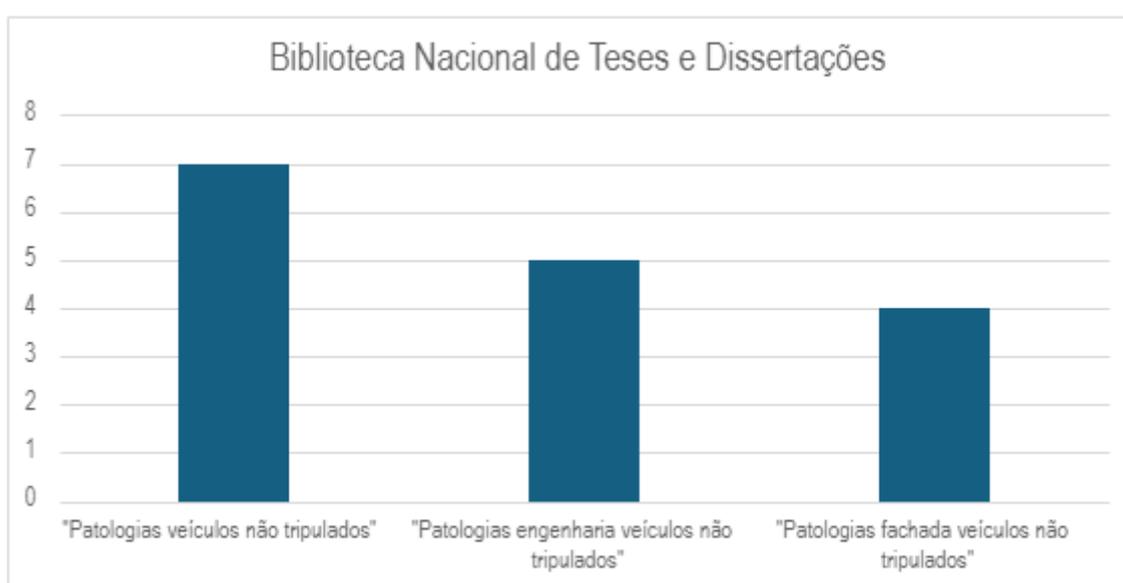


Nota-se um crescimento contínuo na produção acadêmica no período levantado, contudo existe uma queda à medida que a pesquisa vai ficando mais específica à área (construção civil) e à modalidade (veículos não tripulados). Supõe-se que ao utilizar o tema "Patologia veículos não tripulados" tenha-se tido como resultado muitas pesquisas na área de medicina, visto que a tecnologia já é bastante utilizada para pequenas cirurgias há mais tempo, enquanto para a área de construção civil a regulamentação dela é mais recente.

**Quadro 5. Distribuição temporal das pesquisas sobre o uso de veículos não tripulados na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações**

Termos pesquisados	Número de correspondências
"Patologias veículos não tripulados"	7
"Patologias engenharia veículos não tripulados"	5
"Patologias fachada veículos não tripulados"	4

**Gráfico 2. Distribuição temporal das pesquisas sobre o uso de veículos não tripulados na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações**

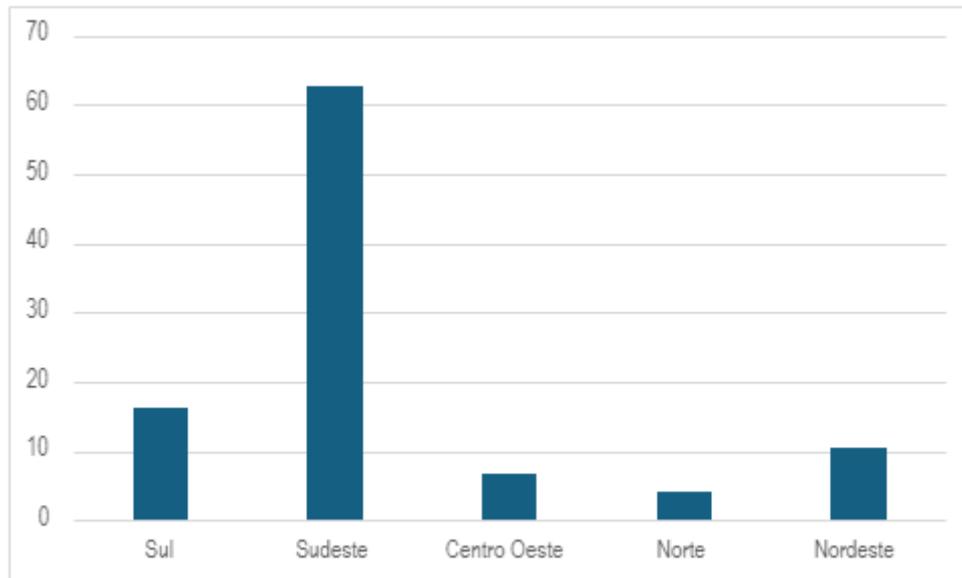


Nota-se o mesmo comportamento de queda que a pesquisa anterior quando os termos pesquisados são mais específicos, contudo, o destaque é para o pequeno volume de produção intelectual sobre o tema. Isso se deve, provavelmente, à falta de interesse em parcerias entre as universidades e as empresas privadas (detentoras da tecnologia), o que, para a indústria da construção civil é muito ruim, visto que os centros acadêmicos são os produtores de conhecimento aplicado.

#### **4.2 Análise da vantagem do uso de VANTs no critério segurança**

A análise do critério de segurança é feita a partir de dois eixos: quantidade de acidentes de trabalho em altura e impactos previdenciários desse tipo de acidentes. Ao analisar a quantidade da acidentes de trabalho em altura percebe-se um maior número de registros na região sudeste, que se apresenta como responsável por 62,66% dos casos registrados (120.524 casos) no período compreendido entre 2012 e 2017 (ODSST, 2018).

**Gráfico 3. Acidentes de trabalho por altura distribuído por Região entre 2012 e 2017.**



### 4.3 Análise da vantagem do uso de VANTs no tempo

Sob a ótica do tempo gasto para realização de inspeção, o levantamento bibliométrico feito chegou-se à seguinte média de 16 horas para o uso do VANT e 23 horas no uso do alpinismo industrial. As etapas de identificação, quantificação e planilhamento têm duração aproximada para os dois tipos de serviço, visto que é um trabalho manual, sendo que o uso do VANT tem a vantagem de realizar esse serviço no escritório, o que minimiza a chance de acidentes (Feital, 2017; Andrade, 2020; Bedin; Mattana, 2020; Da Luz, 2021; Nery; Pimenta; Braga, 2021; Bragança; Lima, 2022; Carmo, 2022; Rocha *et al.*, 2023).

Além disso o tempo gasto isoladamente para identificação das patologias também é menor no uso do VANT – 3 horas – do que no alpinismo industrial – 3,7 horas. Isso se deve à facilidade de controle sobre o equipamento, além de que para o alpinismo industrial ser necessária a qualificação do mesmo para identificação das patologias (Da Luz, 2021; Nery; Pimenta; Braga, 2021; Bragança; Lima, 2022; Carmo, 2022).

A desvantagem no uso do VANT quando comparada ao alpinismo industrial é que o número de viagens é maior no primeiro e muitas vezes é necessário parar o voo por questões climáticas, técnicas (bateria) e até mesmo dos próprios condôminos.

Os drones têm se mostrado um equipamento eficaz no levantamento de informações em campo, indo além dos métodos tradicionais em termos de quantidade e qualidade de informações obtidas. Entretanto, é importante salientar que a implementação bem-sucedida de VANTs na construção civil requer aprendizado especializado dos operadores, capacitação adequada e conformidade com as regulamentações locais. Ao passo que essa tecnologia vai evoluindo, espera-se que sua utilização na construção civil seja cada vez mais constante, possibilitando a eficiência e otimizando os processos nessa indústria tão importante para a evolução da sociedade.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A partir da análise dos resultados alcançados, foi possível concluir que o conjunto tecnológico composto de veículo aéreo não tripulado, câmera digital aérea e software de processamento foi validado que auxiliaria o inspetor na interpretação e diagnóstico das manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico, uma vez que os recursos visuais produzidos propiciaram a detecção de diferentes achados patológicos.

Nesse método de detecção, a aeronave e a câmera incorporada mostram eficiência na coleta de imagens, proporcionando fotografias com qualidade satisfatória e dando agilidade aos processos. Assim, esse pacote tecnológico se caracterizou pela versatilidade na movimentação vertical e horizontal, bem como pela facilidade para alcançar as regiões mais elevadas das edificações, particularidades que, combinadas, permitem atender aos critérios mínimos necessários para o mapeamento de fachadas com técnicas de fotogrametria digital.

De modo geral, os resultados alcançados na pesquisa reconhecem a capacidade da combinação do VANT para a detecção das manifestações patológicas, tais como eflorescência, mofo, bolor, fissuras e trincas. Por fim, estima-se que à medida que essa tecnologia continue a evoluir e que sua aplicação na construção civil seja cada vez mais frequente, promovendo a eficiência e aprimorando os processos nessa indústria essencial para a evolução da sociedade.

## REFERÊNCIAS

ABNT – **NBR 5674: Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**, 2012.0

ABNT – **NBR 15575-4: Edificações Habitacionais - Desempenho Parte 4: Sistemas de Vedação verticais internas e externas**. P.57, 2013.

AGUILAR, Gabriel. **Inspeção predial de fachadas com Drones à luz da ABNT NBR 5674: 2012**: a fachada de um edifício pode apresentar manchas provenientes da existência de infiltrações, além de fissuras e rachaduras por falta de manutenção periódica. 2019. Disponível em: [https://vivacondominio.com.br/ptype\\_news/inspecao-predial-de-fachadas-com-drones-a-luz-da-abnt/](https://vivacondominio.com.br/ptype_news/inspecao-predial-de-fachadas-com-drones-a-luz-da-abnt/). Acesso em: 25 mar. 2024.

ALMEIDA, L. L. **Patologias em revestimento cerâmico de fachada**. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.

ALLSOP, D. et SEAL, K. J. **Introduction to biodeterioration**. London: Edward Arnold, 1986. Apud Uemoto, K. L.; AGOPYAM, V.; BRAZOLIM, S. **Degradação de pinturas e elementos de fachada por organismos biológicos**. São Paulo: EPUSP, 1999.

ANAC., **Regras da ANAC para uso de drones entram em vigor**. Disponível em: [http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release\\_drone.pdf](http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone.pdf) >. Acesso em: 12 abr. 2024.

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. **Orientações para Usuários de Drones**. 1ª ed. Brasília, 2017.

ANDRADE, Renan Pereira de. **Uso da termografia infravermelha embarcada em drone como ferramenta para a inspeção de patologias em revestimentos aderidos de fachada**. 2020. Dissertação (Mestrado em Inovação na Construção Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Acesso em: 28 março 2024.

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.

BARROS, M. M, S. B. **Produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria: diretrizes básicas**. 2001. 35 p.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora – 2 volumes – 5a Edição – 1994. 960 p.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora – 2 volumes – 5a Edição – 1997. 951 p.

BRANCO, L. A. M. N. **Revestimentos pétreos: estudo de desempenho frente às técnicas e condições de assentamento**. Tese (Doutorado) na área de Geologia Econômica e Aplicada, Universidade de Minas Gerais, Minas Gerais, 2010.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 18**: Brasília, DF, 2021.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 35**: Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretariade-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-35.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2024.

CARASEK, H. **Argamassas**. In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. ISAIA, G.C. (Organizador/Editor). São Paulo: IBRACON, 2007 p 804-863.

CBCI. Câmara Brasileira da Construção Civil. Catálogo da Construção Civil. Brasília: CBIC, 2016.

CBIC. **PIB Brasil e Construção Civil**. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construção-civil>. Acesso em: 27 mar. 2024

CHAVES, A. M. V. A. **Patologia e Reabilitação de Revestimentos de Fachadas**. Tese (Mestrado) na área de Especialização Materiais, Reabilitação e Sustentabilidade da Construção, Universidade do Minho, Braga, 2009.

CINCOTTO, M. A. **Utilização dos subprodutos e resíduos na indústria da construção civil**. In: Tecnologia das edificações. São Paulo, PINI, 1988.

CINCOTTO, M. A., SILVA, M. A. C., CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: Características, propriedades e métodos de ensaio** (Publicação IPT 2378). 1a ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

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. IVALE, André Henrique; DA SILVA, Mario César; DE ALENCAR NÃÃS, Irenilza. 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.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. **AIC para Operação de Aeromodelismo no Brasil**. 2017. Disponível em: <https://www.decea.gov.br/static/uploads/2017/07/17-Nota-Explicativa.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2024.

DRONESHOW E MUNDOGEO. Case: **Inspeção por Drones em um Reator Industrial**. 2020. Disponível em: <https://droneshowla.com/case-inspecao-por-drones-em-um-reator-industrial>. Acesso em: 29 mar. 2024.

FEILDEN, B. **Conservation of historic building**. 3. Ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2003. 181 p. Apud Muller, S. R. **Histórico do campus e as patologias das fachadas dos prédios voltados para a Avenida Roraima – UFSM**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2010.

FERREIRA, B. B. D. **Tipificação de patologias em revestimentos argamassados**. Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2010. 192 p.

GONÇALVES, T. C. D. **Salt crystallization in plastered or rendered walls**. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007. 262 p.

GOUVEIA, A.A. DE et al. Inovação tecnológica na construção civil-utilização de drone para gerenciamento de obra. In: **Tópicos em construção civil: Tecnologia, inovação e metodologia aplicadas**. 1º ed. Belo Horizonte: Poisson, 2021.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal: Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil**. 2a ed. São Paulo: Pini, 2002. 341 p.

HAM, Y. et al. Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): a review of related works. **Visualization in Engineering**, [s. l.], p. 1-8, 2016.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1993.

IBAPE. **Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia**. Disponível em: <http://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2012/12/Norma-de-inspeção-Predial-IBAPE-Nacional.pdf>  
Acesso em: 28 mar. 2024.

IRATA Brasil. **A Nossa História. 2014**. Disponível em: <https://irata.org/pt/pagina/a-nossa-historia>. Acesso em: 28 mar. 2024.

JOISEL, A. **Fissuras y gretas en morteros y hormigones: suas causas y remedios**. 4.a ed. Barcelona, Editores Técnicos Associados, 1975. Apud SILVA, F. A. **Manifestações patológicas em fachadas com revestimentos argamassados. Estudo de caso em edifícios em Florianópolis**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2007. 192p.

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. 1444-1450, 2019.

KOVACS. **O que significa NBR?** [Normas técnicas ABNT]. 2022. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/o-que-significa-nbr-normas-tecnicas-abnt>. Acesso: 28 mar. 2024.

MASKURIY, R. et al. Industry 4.0 for the construction industry: Review of management perspective. **Economies**, v. 7, n. 3, p. 1-14, 2019.

MELO, R. R. S. DE; COSTA, D. B. **Uso de veículo não tripulado (VANT) para inspeção de logística em canteiro de obra**. SIBRAGE ELAGEC. **Anais...**São Carlos: 2015.

MTE - Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 18**: Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. 23 ed. [S.l.]: Portaria Ministro de Estado do Trabalho, 1978. 95 p. Disponível em: [https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos\\_SST/SST\\_NR/NR-18.pdf](https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-18.pdf). Acesso em: 20 abr.2024.

MTE - Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 35**: Trabalho em Altura. 1 ed.[S.l.]: Portaria Ministro de Estado do Trabalho, 2012. 16 p. Disponível em: [https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos\\_SST/SST\\_NR/NR-35.pdf](https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-35.pdf). Acesso em: 20 abr.2020.

MORESI, E. (Org.) **Metodologia da Pesquisa**. Brasília: UCB. 2003.

Muller, S. R. **Histórico do campus e as patologias das fachadas dos prédios voltados para a Avenida Roraima – UFSM**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2010.

NEVILLE. A.M. (1997). **Propriedades do concreto**. Trad. de Salvador E. Giammusso. 2ª ed. São Paulo, PINI.

NEWMAN, C. et al. Industry 4.0 deployment in the construction industry: a bibliometric literature review.

OLIVEIRA, L. A.; MOREIRA, T. M.; MITIDIÉRI FILHO, C. V. **Estanqueidade de fachadas à água de chuva**. Revista de Tecnologia das Construções – Técnica. n106, janeiro de 2005. Editora Pini. São Paulo.

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.

PETRUCCI, H. M. C. **A alteração na aparência das fachadas dos edifícios: interação entre as condições ambientais e a forma construída**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. 107 p.

POLITO, G. **Principais sistemas de pinturas e suas patologias**. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2006. 66 p.

PORTUGAL, M. A. **Como Gerenciar Projetos de Construção Civil**. Brasport, 2016  
PROMETALEPIS. **Os benefícios do Alpinismo Industrial – Trabalho em Altura**. 2018. Disponível em: <https://www.prometalepis.com.br/blog/os-beneficios-do-alpinismo-industrial/>. Acesso em: 28 mar. 2024.

QUERUZ, F. **Contribuição para identificação dos principais agentes e mecanismos de degradação em edificações da Vila Belga**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. 173 p.

RAUBER, E. R. *et al.* **Análise bibliográfica sobre as potencialidades da aquisição de imagens multi e hiperespectrais por VANTs no auxílio à inspeção de obras de arte especiais.** R. bras. Geom., Curitiba, v. 6, n. 1, p. 44-61, jan/mar. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo/article/view/5924>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

REVISTA PROTEÇÃO. Rio Grande do Sul. **A proteção**, 01 set. 2022.

ROSCOE, M. T. **Patologias em revestimento cerâmico de fachada.** Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2008.

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.

SAAD, D. **Introdução a bioterização do patrimônio cultural.** Curso de especialização em Conservação e Restauração do Patrimônio Cultural. Santa Maria: UFSM/CECREPAC, 2003. [Apresentação].

SANTOS, S. S. dos. **Patologia das construções.** Artigo técnico. Curitiba: IPOG – Instituto de Pós-graduação e Graduação, 2013. 14 p.

SHIRAKAWA, M. A.; MONTEIRO, A.B.B.; SELMO, S. M. S.; CINCOTTO, M.A. **Identificação de fungos em revestimentos de argamassa com bolor evidente.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. 1995... Goiânia. p 402 – 410.

SILVA, D. C. Evolução da fotogrametria no Brasil. **Revista Brasileira de Geomática**, [s. l.], v. 3, ed. 2, p. 81-96, 2015.

SILVA, J. M.; ABRANTES, V. **Patologias em paredes de alvenaria: causas e soluções.** In: Seminário sobre Paredes de Alvenaria – Inovação e possibilidades atuais. Universidade do Minho. Lisboa. 2007.

SILVA, J. S. G., FORTES, A. S. **Fissuração nas argamassas de revestimento em fachadas.** Artigo técnico. Salvador: UCSAL – Universidade Católica do Salvador, 2008. 13p.

SOUZA, G.F. **Eflorescências nas argamassas de revestimento.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. Anais... Salvador: CETA/ANTAC, 1997.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação.** Editora Pini. São Paulo. 1989.

TONDELO, Patricia Geittenes; BARTH, Fernando. Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT. **Parc Pesquisa em Arquitetura e Construção**, [s.l.],v. 10, p. 1-18, 26 fev. 2019. Universidade Estadual de Campinas. <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652817>. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8652817/19195>. Acesso em: 13 abr. 2024.

UEMOTO, K. L. **Patologia: danos causados por eflorescências**. In: Tecnologia de Edificações. São Paulo: Ed. Pini. 1988. p 561 – 564.

VARGAS, N. **Tendências de mudança na indústria da construção**. Revista Espaço e Debate, São Paulo, v. 12, n. 36, 1992.

VEIGA, M. R. **Comportamento de argamassas de revestimento de paredes**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS – V, 2003, São Paulo. Anais. São Paulo: EPUSP – PCC/ ANTAC, p. 63 – 93.

VERÇOSA, E. J. **Patologia das edificações**. Porto Alegre, Ed. Sagra, 1991.