

ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO POR MEIO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS EM UM EDIFÍCIO LOCALIZADO NA CIDADE DE SÃO PAULO

Rodrigo Rogerio Cerqueira da Silva¹

Yara Balbino Gomes²

Jonathas da Silva³

Matheus Francisco⁴

Bruno Matteoni Rojão⁵

Aderbaldo dos Santos Oliveira⁶

RESUMO

As patologias na construção civil estão cada vez mais evidenciadas na sociedade atual visto que o número de habitantes nas grandes e pequenas cidades está aumentando cada vez mais, e por isso há uma necessidade de novas construções habitacionais e comerciais que muitas das vezes apresentam defeitos estruturais que podem comprometer em vários fatores de uma edificação, como a durabilidade da estrutura, a segurança, e o valor da edificação. As manifestações patológicas podem ter como origem desde os projetos calculados incorretamente, materiais fora das normas de desempenho sendo utilizadas na construção das estruturas, além das falhas no processo de execução in loco. As principais manifestações patológicas são as fissuras em estruturas, infiltrações, desagregação, deformação na estrutura e corrosão nas armaduras. Uma das formas de se detectar e analisar uma patologia são os ensaios não destrutivos, que auxiliam na explicação do porque ocorreu a falha estrutural de forma que não seja necessária a demolição parcial da estrutura por meio da extração de testemunhos. O objetivo do presente artigo é abordar os principais métodos de ensaios não destrutivos utilizados na construção civil, a fim de garantir a qualidade e segurança de estruturas já existentes. Para demonstrar a aplicabilidade destas técnicas, apresenta-se como estudo de caso, a utilização de ensaios não destrutivos através da utilização de termografia de infravermelho e solução de fenolftaleína, para detecção de patologias de uma edificação localizada na cidade de São Paulo.

Palavras-chave: patologia em estruturas; ensaios não destrutivos; termografia de infravermelho; metodologia Gut; metodologia IBAPE.

ANALYSIS OF PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS IN CONCRETE STRUCTURES THROUGH NON-DESTRUCTIVE TESTING IN A BUILDING LOCATED IN THE CITY OF SÃO PAULO

ABSTRACT

Pathologies in civil construction are becoming increasingly evident in today's society, as the number of inhabitants in large and small cities is growing, and so there is a need for new housing and commercial constructions that often have structural defects that can compromise various factors in a building, such as the durability of the structure, safety and the value of the building. Pathological manifestations can originate from incorrectly calculated designs, materials not complying with performance standards being used in the construction of structures, as well as flaws in the on-site execution process. The main pathological manifestations are cracks in structures, seepage, disintegration, deformation of the structure and corrosion of reinforcement. One of the ways of detecting and analysing pathology is non-destructive testing, which

¹ Pós-doutorado pela Universidade Estadual de Campinas. Doutorado Universidade Estadual de Campinas, Doutorado em educação pela Universidade Estadual de Campinas, Mestrado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas em fundações profundas, Especialização em Engenharia Geotécnica pela Instituto de Ensino Superior da Região Serrana, Especialização em Geologia Estrutural pela Faculdade Cristo Rei, Especialista em Docência do Ensino Superior pela Universidade Municipal de São Caetano do Sul, Graduação pela Universidade Estadual de Campinas e Formação Pedagógica de Docentes pela Universidade Nove de Julho.

² Possui especialização em Gestão de Projetos em edificações, especialização em geotécnia e graduação em engenharia civil.

³ Engenheiro civil, graduado pela Universidade Nove de Julho.

⁴ Engenheiro civil, graduado pela Universidade Nove de Julho.

⁵ Engenheiro civil, graduado pela Universidade Nove de Julho.

⁶ Engenheiro civil, graduado pela Universidade Nove de Julho.

helps to explain why the structural failure occurred so that partial demolition of the structure is not necessary by extracting cores. The aim of this article is to discuss the main methods of non-destructive testing used in construction to guarantee the quality and safety of existing structures. To demonstrate the applicability of these techniques, a case study is presented of the use of non-destructive testing using infrared thermography and phenolphthalein solution to detect pathologies in a building located in the city of São Paulo.

Keywords: structural pathology; non-destructive testing; infrared thermography; Gut methodology; IBAPE methodology.

Recebido em 20 de agosto de 2025. Aprovado em 30 de agosto de 2025

INTRODUÇÃO

A ocorrência de patologias estruturais na construção civil comprometem a vida útil do empreendimento, a segurança e saúde dos ocupantes, podendo ter diversas causas como falhas na execução, dimensionamento errado, falta de manutenção preventiva e corretiva. Sem o advento da tecnologia, era costume a realização de ensaios destrutivos nas edificações que apresentassem sinais de patologias estruturais. Com o avanço tecnológico na engenharia civil, os ensaios não destrutivos (END) proporcionaram meios mais eficazes, assertivos e econômicos para identificação, análise e correção das patologias.

De acordo com Silva et al. (2023) os ensaios END são utilizados como meio de inspeção e análise de forma mais econômica e eficiente, produzindo diferentes resultados, por meio do conjunto de informações obtidas sobre as propriedades físicas da estrutura. Porém devido a ampla gama de materiais que utilizamos na construção civil e a maneira mais simples de aplicação dos END, é imprescindível que a utilização desses meios seja conduzida por profissionais qualificados, a fim de garantir resultados mais exatos e livres de influências externas. Após décadas utilizando métodos de inspeção, onde é necessário à demolição parcial de partes da construção para obter diagnósticos de patologias, hoje é possível obter os mesmos resultados com uma eficiência melhor e mais econômica com os ensaios não destrutivos.

Existem muitas técnicas de END, baseadas em diversas metodologias e teorias, produzindo diferentes resultados através do conjunto de informações obtidas sobre as propriedades físicas da estrutura. Martins et al. (2011) classificam os métodos não destrutivos em dois grupos, métodos globais (GTM - Global Test Method) e métodos locais (LTM - Local Test Method). De acordo com Silva et al. (2022) os métodos globais avaliam as estruturas através de suas grandezas físico-mecânicas correlacionadas com a resistência e/ou deformabilidade, com o objetivo de atribuir um nível de resultado mais próximo da realidade, fazendo parte deste grupo os mais utilizados são os ensaios de esclerometria e os ensaios baseados na propagação de onda de ultrassom. Usualmente os métodos locais estão relacionados para localizar anomalias no concreto baseando-se na interação das descontinuidades internas como métodos eco-impacto, termografia infravermelha e o método de radar de penetração no solo “GPR – Ground Penetrating (SILVA et al., 2022).

A importância dos ensaios não destrutivos está na sua capacidade de promover uma correção mais assertiva e uma manutenção preventiva que impeça novas patologias, assim reduzindo dos custos de reparos e aumentando a durabilidade da estrutura. O objetivo do presente artigo é abordar os principais métodos de ensaios não destrutivos utilizados na construção civil, como a termografia de infravermelho e a utilização de solução de fenolftaleína, a fim de garantir a qualidade e segurança de estruturas já existentes. Para demonstrar a aplicabilidade destas técnicas, apresenta-se como estudo de

caso, a utilização de ensaios não destrutivos para detecção de patologias de uma edificação localizada na cidade de São Paulo.

PATOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O termo patologia é originado do grego (pathos, doença, e logos, estudo), esse termo pode ser utilizado em várias áreas de estudo visto que é uma forma de entender as razões de um problema e como evitar elas, porém no presente artigo vamos aprofundar nas patologias de estruturas de concreto. Nos estudos de uma patologia de estrutura é usado alguns termos técnicos para classificar as etapas da patologia, sendo alguns deles:

- Profilaxia: são as formas de evitar uma manifestação patológica e sua multiplicação;
- Diagnóstico: é a classificação do problema, a identificação da patologia e sua origem;
- Prognóstico: é a previsão do quanto aquele problema vai evoluir se não for tratado;
- Terapia: é o tratamento de uma patologia;
- Sintomas: são as manifestações patológicas, falhas visuais ou internas que só podem ser descobertas através de ensaios.

Uma patologia pode ser desenvolvida antes mesmo da execução dos serviços feitos em um canteiro de obra, isso se o estudo preliminar e o anteprojeto não calcularem corretamente as cargas atuantes na estrutura tornando-se sucessíveis a sintomas, desde as deformações, corrosão das armaduras, fissuras etc. (WEIMER et al., 2018). Não apenas os estudos de cargas podem evitar as manifestações patológicas, mas as escolhas dos materiais utilizados na estrutura podem comprometer o desempenho e a vida útil das edificações. Essa falha nos estudos preliminares pode gerar custos não previstos no orçamento da obra, pois é mais simples que seja a manifestação patológica e necessário tempo e material para a terapia dessa manifestação, por isso é importante usar como referência as normas de desempenho, como por exemplo, a ABNT NBR 15575-1 (2024) que aborda edificações habitacionais e seu desempenho), essa tem como objetivo auxiliar na avaliação de desempenho das estruturas e como avaliar a execução dos serviços (WEIMER, et al., 2018).

Junto com a norma citada anteriormente é aconselhável usar como complemento as normas ABNT NBR 6118 (2024) (projetos de estruturas de concreto – procedimentos) para projetos e ABNT NBR 14931 (2023) que se trata da execução de estruturas de concreto visando o procedimento para a execução.

O controle tecnológico de uma obra pode contribuir para o estudo de uma patologia, pois o correto controle de uma obra é responsável por garantir a qualidade de todos os serviços executados através dos ensaios técnicos realizados em laboratórios, onde é comprovado se determinado material está apto para ser utilizado e se ele atende as normas de desempenho. É um controle tecnológico também é armazenado todos os ensaios técnicos, notas fiscais e o mapeamento de onde foi utilizado cada material. Segundo Brandão et al. (2022) esse controle é muito importante caso uma patologia seja desenvolvida, pois o acervo técnico da obra vai proporcionar uma resolução mais assertiva e rápida, pois com esse acervo técnico é possível saber quais materiais e onde foram utilizados.

ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

De acordo com Oliveira (2019) e Silva et al. (2022 e 2023) os ensaios não destrutivos (END) têm definição de não serem maléficis para o elemento ou corpo de ensaio. São técnicas aplicadas nas inspeções de materiais sem danificá-los, sendo

executados em etapas de construção, montagem e manutenção Assim, sendo algo de muita importância dentro do segmento de engenharia nas verificações de estruturas.

Os (END) são técnicas bastante utilizadas nas indústrias na análise de falhas, que possuem a finalidade de detectar características e verificar propriedades mecânicas. Apesar das inúmeras vantagens dos END seu investimento é caro, muitos utilizam elementos e materiais consumíveis e só são manuseados por profissionais habilitados (LEITE, 2014). Os ensaios em estruturas mais recentes, buscam esclarecimento sobre o controle de qualidade dos materiais e suas aplicações. Já em estruturas antigas, os ensaios são correlacionados com a integridade da estrutura. A Tabela (1) apresenta um quadro referente aos (END) mais usados frequentemente, cabendo ao profissional técnico que irá conduzir ou solicitar o ensaio conhecer a metodologia e resultados referentes a cada um. Assim, também segundo critérios de investimento, custos, prazos e aplicações.

Tabela 1 - Principais características dos Ensaios Não Destrutivos.

	Material Inspeccionado	Defeitos Localizados	Custo de Equipamentos	Custo Operacional
Líquido Penetrante	Metálico e não metálico	Superficiais	Sem custo	Alto
Partículas Magnéticas	Somente ferromagnéticos	Superficiais e internos	Médio a alto	Baixo
Correntes Parasitas	Metais ferrosos e não ferrosos	Superficiais	Médio a alto	Baixo
Raio X	Praticamente qualquer material	Internos	Alto	Alto
Ultrassom	Qualquer material que conduza som	Internos	Médio a alto	Médio

Fonte: adaptado (Oliveira, 2019).

Para o presente estudo de caso, foram utilizados os ensaios de inspeção visual, termografia e teste de fenolftaleína que são ensaios não destrutivos (END).

Inspeção Visual

Sendo este um dos métodos mais antigos e utilizados em diversas áreas e específicas da engenharia Civil. Referente aos ensaios não destrutivos (END), o método de inspeção visual é importante em análises e verificações dimensionais ou mudanças superficiais em materiais no geral, como deformações, corrosão, alinhamento, cavidades, porosidade, trincas, montagem em sistemas mecânicos, variações em superfícies pintadas, entre outros (BRIZZI, 2021). A fim de verificar e localizar problemas de forma rápida, o ensaio de inspeção visual é simples e a olho nu, não sendo necessária a utilização de ferramentas. Existem situações na qual a inspeção visual direta não é eficiente, pois são de necessidade de visualização em pontos internos. Com isso temos o auxílio de sistemas conhecidos como Buroscopio ou Videoscopio (ABENDI, 2019).

Termografia

O ensaio de termografia tem a finalidade de analisar as temperaturas no corpo de ensaio, assim sendo capaz de detectar alterações de temperatura sobre a superfície do objeto. Defeitos interrompem o fluxo de calor e a transferência através do meio de concreto, influenciando a quantidade de energia radiante emitida e medida pelo sensor do termógrafo. Podendo essas alterações indicar a possibilidade de descontinuidades, trincas, umidade na peça, entre outros defeitos na superfície ou abaixo dela (ICHI, e DORAFSHAN, 2022).

Para execução deste método são utilizados equipamentos de infravermelho que analisam a distribuição térmica. A partir da radiação infravermelha exposta pelos corpos, são verificadas as temperaturas em conjunto da imagem do local de medição (NOGUEIRA e REIS, 2010). Segundo estudos realizados por Mendonça et al., (2013) este END utiliza alguns equipamentos essenciais como as câmeras termográficas, que podem ser definidas por suas qualidades, especificações, amplitude de medição e menor taxa de erro, assim trazendo os custos de acordo com o modelo. Além deste equipamento essencial para o ensaio, temos acessórios que facilitam a determinação de emissividade e medidores de radiação térmica (SILVA, 2021). A radiação infravermelha que atinge os detectores e focada pela lente, sendo as principais feitas dos materiais: Germanio, Silício e Seleneto de Zinco (ZnSe). Já os sensores são compostos de Antimoneto de Índio (Insb), Telureto de Mercúrio e Cadmo (HgCdTe) e Silicieto de platina (PtSi) (SILVA, 2021).

Ensaio de fenolftaleína

O ensaio de fenolftaleína é muito usado para verificação de carbonatação na estrutura de concreto. Neste ensaio é possível verificar o pH do concreto, assim verificando até onde a carbonatação está atingindo a estrutura, além de podermos ter uma resposta visual do resultado, pois quando o pH está abaixo de 8 permanece incolor e quando está acima de 8 se torna vermelho-carmim (MATOS, 2021).

A fenolftaleína pode ser encontrada em pó, no qual deve-se seguir a norma para seu preparo UNE 112-011-94 (1994), tendo que adicionar a porcentagem correta de álcool para diluição do produto, prevista em norma também. Porém, temos a opção mais vendida e usada, que já é produzida com a fenolftaleína diluída e com a porcentagem de álcool especificada no rótulo do produto (MATOS, 2021). Para o ensaio, devemos estar com um kit de ferramentas necessárias para nos auxiliarem em certas atividades para o ensaio como ponteiro, talhadeira, trena, fissurometro, marreta e demais equipamentos de proteção como luvas, óculos etc. A fenolftaleína é aplicada através de um borrifador de água nas regiões desejadas para análise da alcalinidade do concreto, e preciso remover uma camada de 1 a 2 cm do concreto de cobertura da armadura para conseguir medir a profundidade da carbonatação. Essa profundidade é medida em milímetros, e a partir desse valor podemos determinar a vida útil da estrutura.

CLASSIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS

Para avaliação e classificação das anomalias detectadas, foram usadas duas abordagens: Matriz GUT e metodologia IBAPE. A inspeção e o estudo de caso foram elaborados conforme exigências previstas na norma ABNT NBR 16747 (2020) – Inspeção predial: Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimentos, assim como na Norma de Inspeção Predial (2021) do IBAPE (Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias). A utilização de metodologias diferentes, porém, que abordam as mesmas situações, nos possibilitou uma avaliação estruturada, garantindo maior confiança e eficiência no processo decisório sobre as soluções e intervenções necessárias.

Metodologia GUT

A matriz Gravidade, Urgência e Tendência, que e também conhecida por matriz de prioridades. Foi criada por H. Kepner e Benjamin B. Tregoe, no ano de 1981. Tinha um proposito inicial de ajudar na resolução de problemas complexos em grandes indústrias americanas e japonesas (BRAGA. 2019). Segundo Sotille (2014) e Lima et al. (2022), a Matriz GUT e uma ferramenta que com o passar do tempo se tornou muito utilizada na solução de problemas. E complementado pelo autor a explicação sobre os campos de análise, sendo este pontuado numa escala de 1 a 5, conforme especificado a abaixo:

- a) Gravidade: Intensidade, complexidade dos danos que o fenômeno acarreta caso não haja um reparo dele;
- b) Urgência: O tempo ate o aparecimento dos danos ou resultados indesejáveis que são causados pelo problema que não teve um reparo ou atuação;
- c) Tendência: Não ocorrido nenhum reparo ou manutenção, este e o desenvolvimento e expandimento do problema.

Assim sendo, as anomalias e falhas detectadas serão classificadas em conformidade com o valor obtido entre a razão destes três critérios, estabelecido pela equação mostrada abaixo:

$$\text{Grau de Criticidade} = \text{Peso (GRAVIDADE)} \times \text{Peso (URGÊNCIA)} \times \text{Peso (TENDÊNCIA)}$$

Por meio deste valor, é possível organizar em prioridades as intervenções que devem ser realizadas, facultando ao condomínio o processo de tomada de decisão, de acordo com a Tabela (2).

Tabela 2 - Pontuação dos campos de gravidade, urgência e tendência.

Pontuação	Gravidade	Urgência	Tendência
1	Sem gravidade (dano mínimo)	Longuíssimo Prazo (dois ou mais meses) sem pressa	Desaparece ou não irá piorar, podendo até melhorar
2	Pouco grave	Longo Prazo (até um mês) podendo aguardar	Vai piorar em longo prazo ou se reduz rapidamente
3	Grave (dano regular)	Médio prazo (uma quinzena) ou o mais rápido possível	Permanece ou piora em médio prazo
4	Muito grave (Grande dano)	Curto prazo (limite de uma semana) com urgência	Aumenta ou piora em pouco tempo
5	Extremamente grave (dano gravíssimo)	Imediatamente (está ocorrendo) Ação imediata	Tende a piorar muito ou vai piorar rapidamente

Fonte: adaptado (Sotille (2014)).

Metodologia IBAPE

Norma de Inspeção Predial, que foi disponibilizada pelo IBAPE – Instituto Brasileiro de Avaliações e Pericias de Engenharia, que teve sua ultima revisão vigente no ano de 2021, nos apresenta objetivos e critérios relacionados a manifestações patológicas

em inspeção predial (IBAPE-SP, 2021). A seguir estão listadas as etapas e critérios obrigatórios da inspeção predial de acordo com IBAPE/SP:

- 1) Anamnese, levantamento de documentos e dados do local inspecionado;
- 2) Análise inicial dos documentados disponibilizados;
- 3) Vistoria da edificação de forma criteriosa;
- 4) Detecção e classificação referente a origem das anomalias e falhas encontradas;
- 5) Verificação e recomendação técnica quanto a ações essenciais a serem tomadas, a fim de recuperar ou preservar as patologias detectadas;
- 6) Organização das anomalias localizadas em patamares de prioridades;
- 7) Avaliação sobre manutenção dos grupos construtivos;
- 8) Avaliação sobre o uso dos sistemas construtivos;
- 9) Emissão de laudo de inspeção.

Classificação em relação à origem das falhas e anomalias detectadas

As falhas e anomalias são classificadas de acordo com as suas origens, isso facilita a análise técnica do profissional que poderá identificar com precisão a causa e localização do problema. A Tabela (3) a seguir, detalha as principais origens das patologias.

Tabela 3 - Classificação das anomalias de acordo com suas origens.

Classificação	Definição
Endógena	Quando ocorre perda precoce de desempenho, relacionada às etapas de execução ou projeto.
Exógena	Quando ocorre perda precoce de desempenho, associada a elementos externos à edificação (provocados por terceiros).
Funcional	Quando ocorre perda de desempenho, associada ao final de vida útil (envelhecimento natural).
Falhas de uso e manutenção	Quando relacionado a deficiência dos procedimentos e atividades de manutenção periódicas, ocorrendo perda precoce de desempenho.

Fonte: adaptado (IBAPE-SP, 2021).

Classificação em relação ao risco que a anomalia representa

As falhas e anomalias são classificadas também quanto aos riscos, de acordo com a Tabela (4), é possível ver as variações que vão de riscos estéticos até riscos voltados à saúde e segurança das pessoas.

Tabela 4 - Classificação de anomalias de acordo com grau de risco

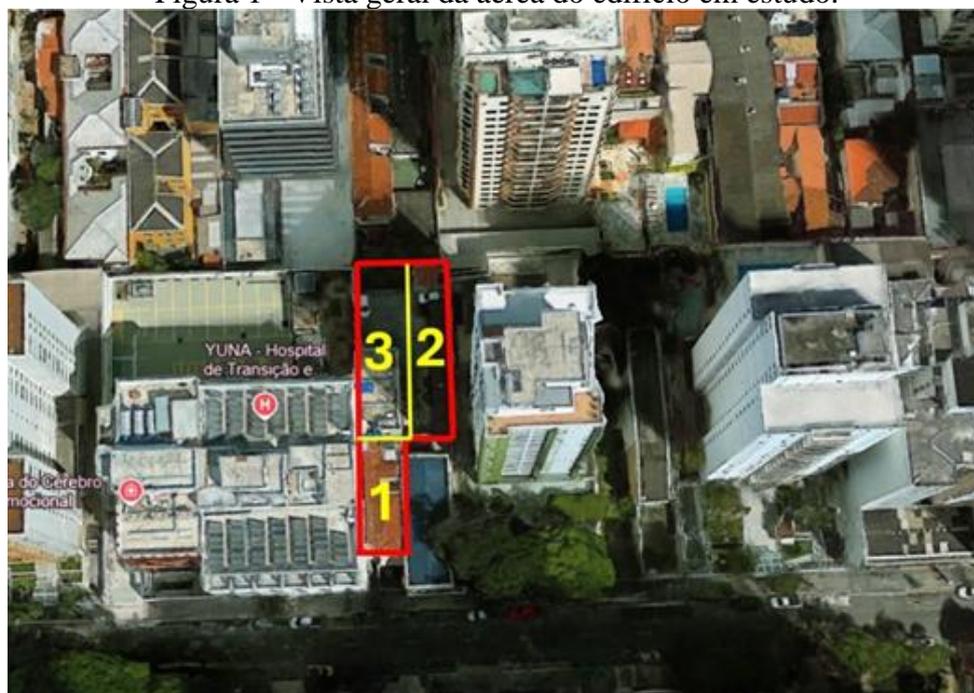
Grau de risco	Definição	Intervenção
Crítico	Danos a saúde, segurança ou meio ambiental, perda precoce de desempenho, alto custo e desvalorização	Imediata
Regular	Danos parciais a funcionalidade, perda de desempenho sem prejudicar a operação (possibilidade de recuperação)	Curto prazo
Mínimo	Danos e prejuízos estéticos ou planejáveis, sem perda de desempenho	Médio prazo

Fonte: adaptado (IBAPE-SP, 2021).

ESTUDO DE CASO

Como estudo de caso, o presente artigo aborda a avaliação das patologias em estruturas de concreto, em um empreendimento localizado na cidade de São Paulo, no bairro Pinheiros, construído na década de 1930. A edificação atualmente funciona como uma garagem comercial e apartamentos para aluguel. Inicialmente, o edifício compreendia apenas ao trecho 1 (Figura 1), onde foi construído com o intuito de abrigar uma siderúrgica, contando apenas com um subsolo, para a fabrica e dois sobressolos para abrigarem as salas de escritório. Posteriormente, o empreendimento expandiu-se ate o trecho 2 (Figura 1 mantendo as operações e usos. Por fim, o empreendimento sofreu sua ultima alteração, incorporando o trecho 3 (Figura 1), tomando forma como o conhecemos hoje, representada pela área destacada em vermelho.

Figura 1 - Vista geral da aérea do edifício em estudo.



Fonte: adaptado (Google Earth, 2025).

O edifício possui uma arquitetura datada, condizente com a idade, preservando alguns detalhes em marcenaria e objetos decorativos antigos armazenados. Entretanto

observamos sinais evidentes de degradação, como infiltrações em diversos pontos, paredes com a pintura desgastada e mofada, deslocamento de revestimentos e crescimento de musgos. Esses sinais evidenciam que o empreendimento não recebeu uma manutenção preventiva e corretiva adequada ao passar dos anos.

Dados da Inspeção

Segundo Ichi e Dorafshan (2022), muitos fatores influenciam na análise das estruturas por meio do ensaio de termografia, incluindo carga solar, temperatura, velocidade do vento, localização da estrutura em relação ao sol, tempo de coleta de dados e condições da superfície. Diante destas considerações supracitadas, as inspeções nas estruturas procuram seguir um padrão de avaliação, considerando o período da manhã, entre 10 e 12 horas. Durante a visita *in loco*, as condições climáticas apresentavam uma temperatura média de 17,67°C, com mínima de 16°C e máxima de 19°C, e umidade relativa do ar de 81%, conforme ilustrado abaixo (Figura 2).

Figura 2- (A) Resumo de dados climáticos; (B) Gráfico por horário da temperatura do local de inspeção; (C) Gráfico por horário da umidade relativa do local de inspeção.

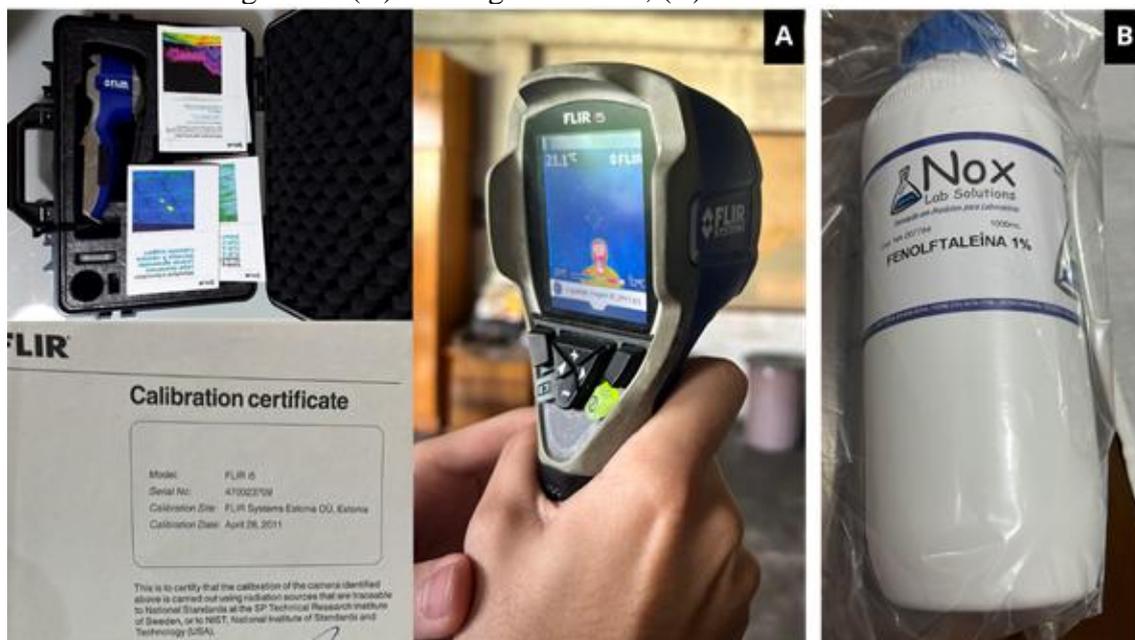


Fonte: Estação Meteorológica Aeroporto São Paulo.
 Acesso em: <https://www tempo.com/sao-paulo-sactual.htm>, 2024.

Equipamentos E Materiais Utilizados Na Inspeção

Para realizar os ensaios, optamos por utilizar meios não destrutivos de termografia e teste de fenolftaleína. Para o ensaio de termografia foi usado o equipamento termógrafo da Marca FLIR SYSTEM, modelo FLIR i5. Para o ensaio de carbonatação foi utilizado fenolftaleína 1,0% (Figura 3).

Figura 3 - (A) Termógrafo Flir i5; (B) Fenolftaleína 1%.



Fonte: Autores (2024).

Inspeção Visual da Estrutura

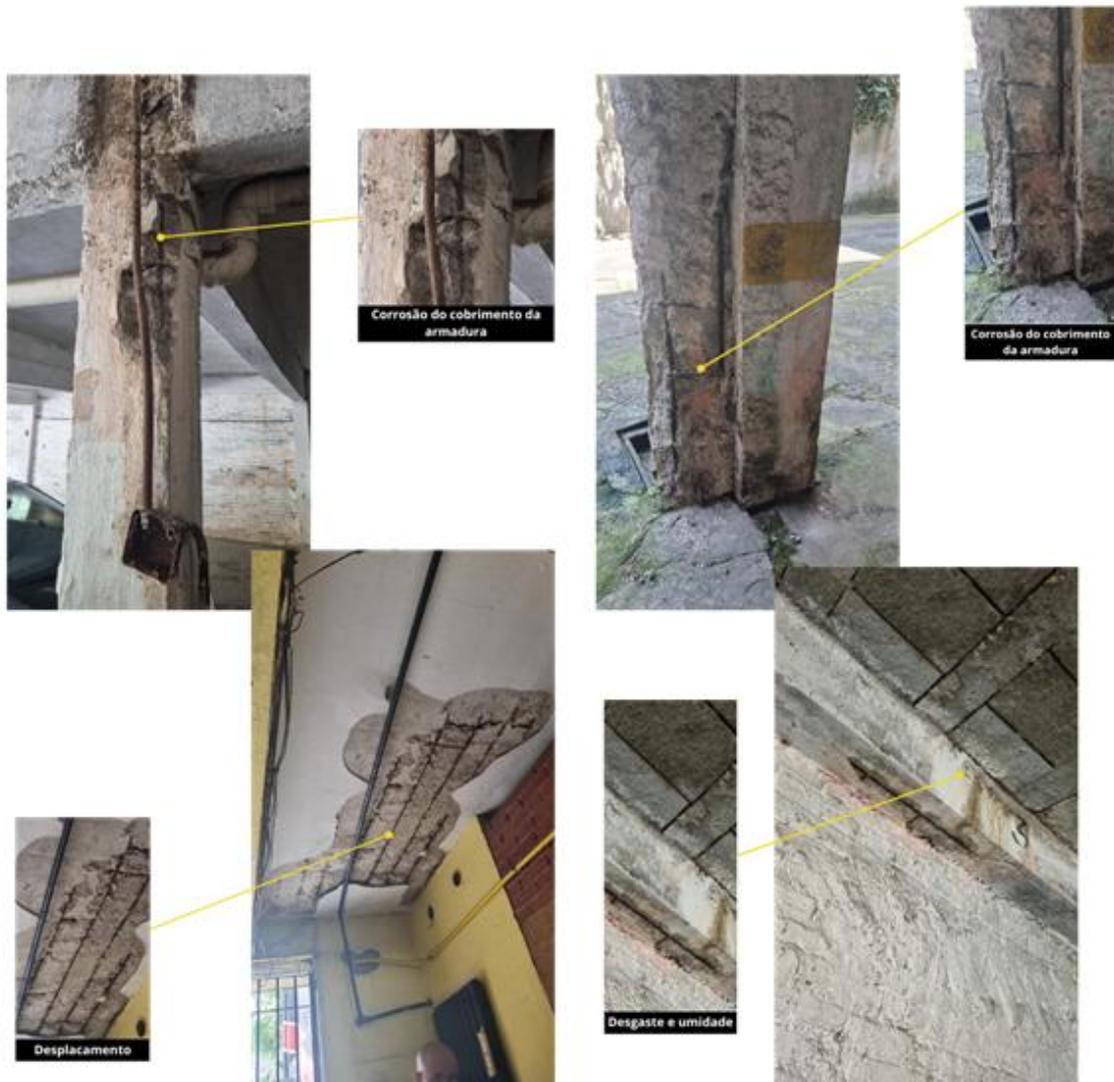
Foram identificadas manifestações patológicas nos subsolos e andar térreo do estacionamento, representadas pelas imagens na Figura (4) e Figura (5). Foram observados deslocamento de cobertura das estruturas, que pode ser associado prolongada exposição à umidade. Esse tipo de manifestação patológica tem como indicativa presença de água na extensão de grande parte da estrutura. A existência de água também é observada pela formação de estalactites de carbonato de cálcio-eflorescência (ENAP, 2019), em grande parte da estrutura, principalmente no primeiro subsolo, indicando a carbonatação da estrutura, pois a presença da eflorescência é resultado do material solubilizado e retirado da estrutura entrando em contato com o CO₂ do ambiente. Sabe-se que elementos construtivos expostos ao ambiente com alta presença de CO₂ se deterioram mais rapidamente devido ao ambiente agressivo, por se tratar de um estacionamento com alto fluxo de veículos, localizados em área nobre e com muitos prédios comerciais e residenciais no entorno. Por isso, sugere-se a existência de manifestações patológicas diversificadas no estacionamento é resultado não apenas da negligência no que diz respeito a conservação, manutenções preventivas, mas também a agressividade do ambiente devido ao serviço prestado no local.

Figura 4 - Manifestações patológicas observadas no local.



Fonte: Autores (2024).

Figura 5 - Manifestações patológicas observadas no local.

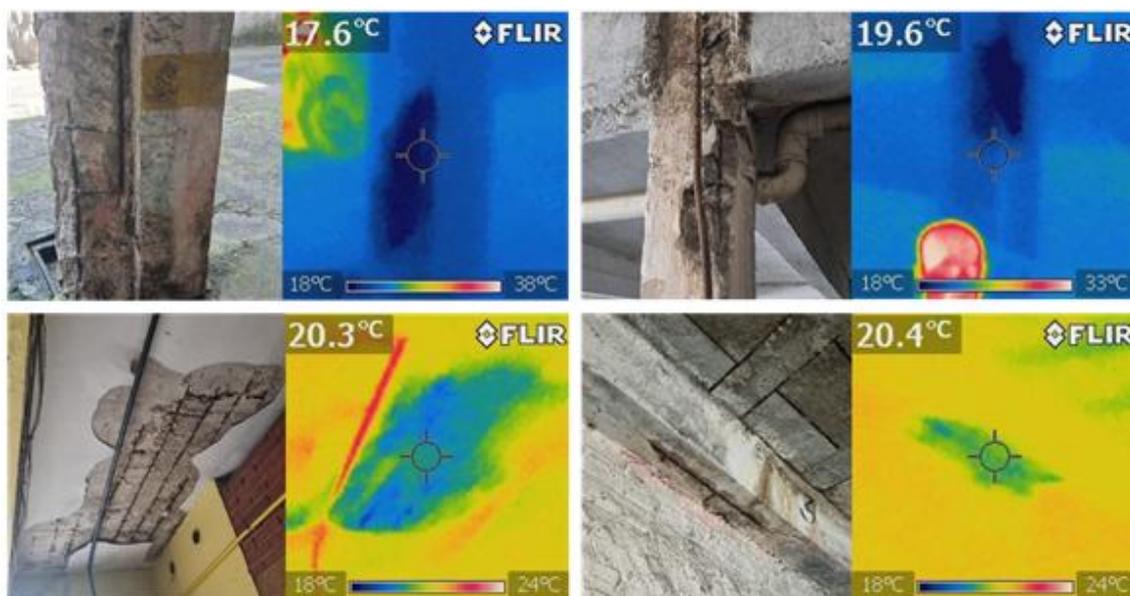


Fonte: Autores (2024).

Teste de Termografia

A termografia das estruturas exibe áreas de baixa temperatura, indicando pontos de infiltração ou umidade. Além disso, observa-se regiões de degradação do reboco, exposição das estruturas metálicas, a redução ou o aumento da cessação do ferro, fissuras e deslocamento. A flambagem da estrutura Figura (6) torna a região mais frágil e pode danificar a estrutura. Ainda há também, perda de material e dano prolongado das estruturas metálicas presente em parte chave da estrutura tornando necessário reforço estrutural antes de se iniciar as obras de restauração.

Figura 6- Imagens termográficas das áreas específicas com patologia.



Fonte: Autores (2024).

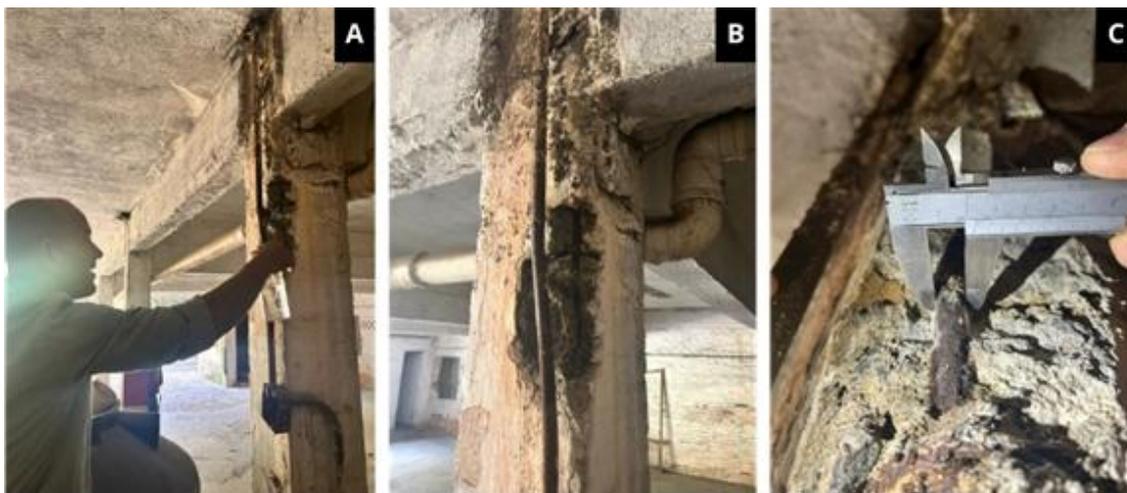
A inspeção termográfica permite observar as diferenças de temperatura que ocorrem nos materiais (VALERO et al., 2019). As variações visíveis pela mudança na cor e na tonalidade presentes nas imagens termográfica determinam possíveis anomalias, como a presença de umidade, trazendo informações importantes para a restauração e conservação dos monumentos. Utilizamos um modelo de cores onde, as referências: azul para a faixa de temperatura mais fria e vermelho/branco para a faixa de temperaturas mais quentes.

Desta forma, o ponto mais frio pode ser identificado em cada imagem. Da mesma forma, alguns fatores que influenciam o estudo da termografia infravermelha como: condições climáticas (insolação, vento, temperatura ambiente, umidade relativa), propriedades do material (emissividade/refletividade, cor), acabamento superficial do edifício ou material (rugosidade ou irregularidade, manchas e cor dos materiais ou superfície, espessura), orientação do edifício em relação ao trajeto do sol durante a inspeção, ângulo de visão e distância da inspeção, além da presença de elementos próximos que produzem calor (PLESU et al., 2012).

Teste de fenolftaleína e verificação das patologias

Junto aos pilares foi verificado o deslocamento de parte do cobrimento do pilar e com isso a exposição da armadura ao ambiente (Figura 7), com a aplicação da fenolftaleína pode verificar que a saúde do concreto, já esta debilitada e a carbonatação se faz presente, tornando-se incolor indicando a presença de um ambiente ácido. Além de o vergalhão mostrar uma leve dilatação em sua cessação por conta da oxidação, onde possivelmente, colaborou para que o deslocamento ocorresse.

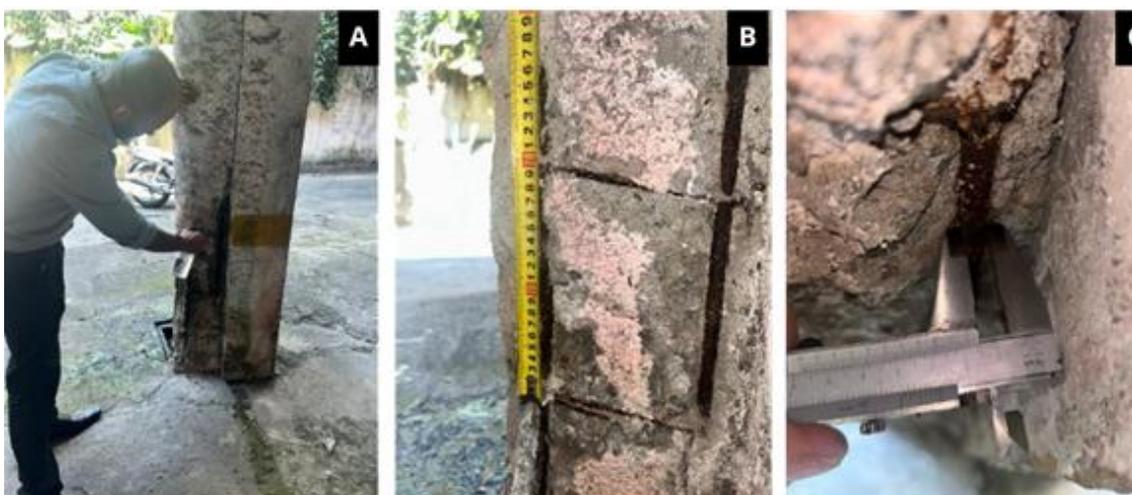
Figura 7 - (A) Aplicação da fenolftaleína; (B) Reação do produto.



Fonte: Autores (2024).

No subsolo foi verificada a presença das mesmas patologias ocorridas no pilar anterior. A estrutura metálica apresentou leve redução da cessação do aço proveniente da oxidação (Figura 8).

Figura 8 - (A) Aplicação da fenolftaleína; (B) Reação do produto aplicado; (C) Medição de armadura aparente.



Fonte: Autores (2024).

Após a inspeção das vigas, foi verificado deslocamento com a presença de carbonatação, porém não apresentou aparente dano a armadura (Figura 9). Em parte da laje, podemos observar na Figura (9) a flambagem da estrutura, deformação que facilmente foi detectada a olho nu, sem necessidade de auxílio de ferramentas de medição. A umidade da estrutura e destacada não só pela presença das estalactites, como também pela diferença na coloração da estrutura.

Figura 9 – Detalhe (A, B e C) Deformação e flambagem da estrutura.



Fonte: Autores (2024).

Verificamos um deslocamento do cobrimento da laje próxima a entrada do estacionamento, esta localizada, na mesma área foi danificada e a armadura tem maior exposição ao ambiente externo. Ao analisar a Figura (10) foi apurado que a armadura apresentou redução, aumento e em alguns pontos a total falta de cessão do aço. Com a aplicação da fenolftaleína não tivemos reação.

Figura 10 - (A) Deslocamento da cobertura da laje; (B) Medição da armadura.



Fonte: Autores (2024).

CLASSIFICAÇÃO DAS ANOMALIAS DETECTADAS

Classificação Matriz GUT

Foi utilizada a Matriz GUT como uma ferramenta que nos ajuda e possibilita a fazer uma análise inicial sobre as manifestações patológicas detectadas, auxiliando na gravidade, urgência e tendência de cada problema. Abordagem essa essencial para o diagnóstico das patologias. A Tabela (5) mostra as patológicas que foram detectadas por meio de ensaios não destrutivos, acompanhando valores atribuídos.

Tabela 5 – Aplicação da Matriz GUT junto ao empreendimento em estudo.

Manifestação patológica	Gravidade	Urgência	Tendência	GxUxT	Prioridade
Deslocamento do recobrimento da armadura	4	4	4	64	3º
Corrosão da armadura	5	4	5	100	2º
Eflorescência	1	1	1	1	6º
Falta de armadura da laje térrea	5	4	3	60	4º
Flambagem da laje	5	5	5	125	1º
Infiltrações	3	4	3	36	5º
Fissuras e trincas	5	5	5	125	1º

Fonte: Autores (2024).

Classificação IBAPE

A classificação das manifestações patológicas, conforme a metodologia do IBAPE permite uma análise detalhada sobre a origem das patologias detectadas e o grau de risco. Na Tabela (3), são apresentados os dados obtidos, que estão categorizados conforme os critérios estabelecidos pela IBAPE-SP (2021).

Tabela 6 - Classificação de anomalias patológicas segundo a Metodologia IBAPE: Origem, Grau de Risco e Intervenção.

Anomalia	Classificação	Grau de risco	Intervenção
Deslocamento do recobrimento da armadura	Endógena	Crítico	Imediata
Corrosão da armadura	Endógena	Crítico	Imediata
Eflorescência	Exógena	Mínimo	Médio prazo
Falta de armadura da laje térrea	Endógena	Crítico	Imediata
Flambagem da laje	Endógena	Crítico	Imediata
Infiltrações	Falha de uso e manutenção	Regular	Curto prazo
Fissuras e trincas	Endógena	Crítico	Imediata

Fonte: Autores (2024).

Análise comparativa

Através de análise comparativa, sobre as duas metodologias utilizadas para classificação das anomalias detectadas e chegamos a uma conclusão técnica. Nesta análise levamos os seguintes critérios como comparativos:

- a) Critérios de avaliação;
- b) Similaridades;
- c) Diferenças;
- d) Conflitos/intervenções entre elas.

A comparação mostra que ambas as metodologias aplicadas são consistentes ao identificar e classificar anomalias e falhas de maior gravidade e urgência, como corrosão de armadura, flambagem de laje e fissuras e trincas. Em ambas as abordagens, essas anomalias foram classificadas como críticas e necessitam de ação imediata.

No entanto, a Matriz GUT se mostra mais eficaz voltada a projetos que envolvem múltiplos problemas, pois ela cria uma classificação hierárquica por meio de uma equação que aborda as principais características (Gravidade, Urgência e Tendência). Já a metodologia IBAPE se mostra mais prática e direta, pois nos detalha a característica de origem de cada patologia detectada e seu grau de risco, sendo assim ideal para determinar a execução das intervenções.

SOLUÇÕES PARA REPARO DAS PATOLOGIAS

De acordo com as diversas patologias apresentadas na inspeção do edifício, foi estudado e identificado soluções específicas para cada tipo de problema encontrado no local, visando a adequação e restauração da segurança e funcionalidade do local. Sendo essas informações de manifestações patológicas, causas e soluções apresentadas na Tabela (7).

Tabela 7 - Manifestações patológicas, causas e estratégias de remediação no edifício.

Manifestação patológica	Causas potenciais	Estratégias de remediação
Deslocamento do recobrimento da armadura	Pode ocorrer devido a falhas na adesão entre o revestimento e o substrato, movimento estrutural, penetração de umidade, formação de etringita tardia ou reações álcali-agregado.	Remoção do material danificado ao redor do descolamento, preparação adequada da superfície e substituição da argamassa ou concreto.
Corrosão da armadura	Pode ocorrer pela exposição prolongada ao ambiente, umidade interna devido a penetração de água, execução falha da impermeabilização.	Após o diagnóstico de END e testes de laboratório é realizado a remoção do concreto que está em volta da armadura com corrosão, essa remoção é feita para que possamos ter contato direto com a armadura, com ela exposta é realizado métodos mecânicos (jateamento, escovação) ou métodos químicos para a remoção da corrosão. Após o tratamento da corrosão a armadura é protegida com materiais inibidores de corrosão a base de zinco para reduzir futuras patologias, o local onde teve o concreto removido é reforçado com uma nova argamassa ou concreto de alta resistência para impedir fissuramento do local. O reforço estrutural é necessário em alguns casos mais graves de corrosão, o reforço pode ser feito com novas armaduras, chapas metálicas e mantas de fibra de carbono

Tabela 7 – Continuação.

Eflorescência	<p>Produtos do fluxo constante de água que solubilizam os produtos internos da estrutura que contêm cálcio, assim o carregando para fora do concreto (lixiviação). O produto lixiviado para fora do concreto interage com o CO₂ existente na atmosfera, formando o carbonato de cálcio (camada branca na superfície do concreto) (ENAP, 2019).</p>	<p>As intervenções mais comuns envolvem a remoção da argamassa danificada para aplicar produtos impermeabilizantes ou argamassas poliméricas, dependendo do material usado na construção das paredes (Righi, 2009).</p>
Falta de armadura da laje térrea	<p>decorrente a uma falha de execução durante a montagem da armadura na forma antes da concretagem, durante a execução a equipe de armadores devem seguir corretamente os projetos de armação e posteriormente o encarregado deve conferir os serviços para garantir a qualidade da estrutura.</p>	<p>É realizado uma inspeção técnica para saber qual a melhor correção da patologia, dentre das opções de correção temos o reforço estrutural com escoras metálicas, instalação de novas armaduras na região crítica, reforço da estrutura com fibra de carbono e envelopamento (ANDRADE, 2001).</p>
Flambagem	<p>As razões pela qual ocorre uma flambagem podem variar entre vários fatores, desde a má execução da estrutura durante sua construção, má escolha dos materiais que serão compostos a estrutura, projetos de execução com falta de detalhamento técnico ou calculado incorretamente. Um fator que pode gerar a flambagem é carga excessiva não prevista no projeto.</p>	<p>A correção de uma flambagem pode ser a mesma aplicada em corrosão de armaduras e estruturas com armaduras faltando.</p>
Infiltrações	<p>A causa de infiltrações é atribuída principalmente a falhas no sistema de impermeabilização (Rocha et al., 2018), mas também pode ser resultado de vazamentos de tubulações ou danos no telhado.</p>	<p>As intervenções mais comuns envolvem a remoção da argamassa danificada para aplicar produtos impermeabilizantes ou argamassas poliméricas, dependendo do material usado na construção das paredes (Righi, 2009).</p>
Fissura	<p>As causas das fissuras em estruturas de concreto incluem não apenas as cargas de tração nos elementos, mas também muitos outros fatores, como a retração plástica dos materiais durante a cura e os gradientes térmicos resultantes da hidratação do cimento (Zhang et al., 2024).</p>	<p>O reparo tradicional de fissuras aplica agentes de cura química, como resina epóxi, metacrilato de metila etc. Eles são aplicados na superfície das fissuras por pulverização e espalhamento (Zhang et al., 2024).</p>

Fonte: Autores (2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apos estudos sobre os diferentes tipos de patologia na construção civil e os impactos dela sobre a sociedade, buscamos formas de detectar e tratar essas falhas estruturais através de Ensaio Não Destrutivo (END). Independentemente do tipo de patologia e claro a importância de um controle tecnológico eficiente em grandes construções de condomínios ou até mesmo casa térreo, com essa medida preventiva e possível evitar erros durante a execução de serviços em canteiros de obra que podem ocasionar em uma futura patologia nas estruturas.

Um claro exemplo, as fissuras em pilares e vigas que podem ser consequência de um concreto de baixa resistência que não foi tratado pela equipe de engenharia da obra, essa patologia poderia ter sido evitada com reforços estruturais com base em ensaios de laboratório feitos com amostras de concreto usado na peça. As patologias em estruturas de concreto armado estão sendo cada vez mais evidenciados na cidade de São Paulo, com a crescente construção de novos edifícios para tentar acompanhar o aumento da população interna e migratória de outros Estados.

Com base no estudo de caso realizado em uma garagem subterrânea na cidade de São Paulo, podemos chegar na conclusão da eficácia de um END em um estudo de patologia, pois com um reagente químico que pode ser comprado em muitas casas de material de construção foi possível realizar testes de fenolftaleína e identificar locais com carbonatação, após aplicar esse reagente em algumas peças estruturais foi identificado nenhum sinal de carbonatação. Através do ensaio de termografia foi possível visualizar locais com grande índice de umidade, possivelmente resultado de infiltrações. Portanto os END são um dos diversos métodos de detecção e tratamento de patologias, junto com esses ensaios e aconselhável o uso de ensaios convencionais destrutíveis em laboratórios. Existem casos em que apenas os END não apresentam todos os detalhes do problema e com isso é aconselhável o uso de outros recursos para a melhor resolução da patologia e garantir sua vida útil para o bem-estar das pessoas que utilizam essa edificação.

Apos a visualização da análise comparativa, é perceptível que o uso combinado das duas metodologias utilizadas é altamente benéfico, pois, é possível iniciar utilizando a Matriz GUT para priorizar intervenções de forma objetiva e hierárquica, em seguida sendo aplicada a metodologia IBAPE que nos detalha as anomalias quanto a suas origens, facilitando na atribuição de recursos e estratégias específicas para as tomadas de decisões para as correções.

REFERÊNCIAS

ABENDI. **Guia ABENDI 2019: Ensaio não Destrutivo e Inspeção**, 2019. Disponível em: https://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/GUIA_ABENDI_2019.pdf

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1 - Desempenho de edificações habitacionais – Parte1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16747: Inspeção Predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras** — Requisitos. NBR 14931. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

BRAGA, I. C., BRANDAO, S. F. Ribeiro, F. R. C., Diógenes, A. G. Aplicação da Matriz GUT na análise de manifestações patológicas em construções históricas. **Revista ALCONPAT**, Volume 9., pp 320-335, 2019.

BRANDÃO, A. C. A.; LOPES, P. S. O.; DA SILVA, T. B.; ROSA, D. D. J. Q. Levantamento sobre as possíveis causas que resultaram em anomalias na alvenaria de uma residência: ênfase na implementação ou não de pilares e vigas previstas em projeto arquitetônico. **PARAMÉTRICA**, v. 14, n. 1, 2022.

BRIZZI, D. Ensaio não Destrutivo: Metrologia e Calibração. **Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Física Médica)** - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, 2011.

Escola Nacional de Administração Pública – ENAP. Módulo 4 - **Patologia: fatores de degradação das construções**. Brasília: ENAP, 2019.

ICHI, E.; DORAFSHAN, S. Effectiveness of infrared thermography for delamination detection in reinforced concrete bridge decks. **Automation in Construction**, v. 142, p. 104523, 2022.

GROSSO, M. Análise termográfica de defeitos de corrosão em aços revestidos por materiais compósitos. Especialização. Apresentado ao curso Engenharia Metalúrgica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO-IBAPE/SP. **Norma de inspeção predial**, São Paulo, 2021.

LEITE, J. P. Técnica não destrutiva para análise da interação de linhas de campo magnético e material. **Tese de doutorado**, UFPB, João Pessoa, PB, Brasil. 2014.

LIMA, B. G. S.; TEIXEIRA, A. V. R.; SILVA, J. V. D. M. S.; DA LUZ, R. B. Levantamento das manifestações patológicas de uma residência unifamiliar no município de Imperatriz-MA com aplicação da matriz GUT. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 8, n. 4, p. 14177-01e, 2022.

MARTINS, S. F.; FERREIRA, R. M.; FEIO, A. O. Ensaio não destrutivo-passado e futuro. CIMAD 11 - 1º Congresso Ibero-Latino-Americano da Madeira na Construção, 7-9/06/2011, Coimbra, PORTUGAL. 2011.

MATOS, R. S. Análise de manifestações patológicas em edifício no Centro Histórico de São Luís-MA: um estudo de campo com aplicação de Fenolftaléina para avaliar a frente de carbonatação na edificação. **Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco**. 2021.

MENDONÇA, L. V.; AMARAL, M.M., do; CATARINO, P. S. A termografia por infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspeção e manutenção dos edifícios. **Spy Building**, v. 23, 2013.

NOGUEIRA, J. C. B.; REIS, V. P.. Emprego da termografia na inspeção preditiva. **Bolsista de Valor**, v. 1, p. 29-36, 2010.

OLIVEIRA, D. G. Ensaaios não destrutivos: Fundamentos e Aplicações. **Trabalho de Conclusão de Curso**. Universidade Federal de Paraíba, Joao Pessoa, PB, 2019.

PLESU, R.; TEODORIU, G.; TARANU, G. Infrared thermography applications for building investigation. **Buletinul Institutului Politehnic Din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura**, v. 58, n. 1, p. 157, 2012.

SILVA, J. J. Estudo e Aplicações dos Ensaaios não Destrutivos no Meio Industrial. **Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia de Materiais** - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2021.

SILVA, R. R. C. da; GONÇALVES, R.; BERTOLDO, C. Methodological aspects for quality control and ultrasound inspection tests on retaining walls. **Materials Evaluation**, v. 80, n. 5, p. 12, 2022.

SILVA, R. R. C. da; GONÇALVES, R.; BERTOLDO, C. Mechanical properties of concrete produced with coarse aggregates from different mineralogical origins using ultrasonic tests. **International Journal of Concrete Structures and Materials**, v. 17, n. 1, p. 66, 2023.

SOTILLE, M. A ferramenta GUT-gravidade, urgência e tendência. **PM Tech Capacitação de Projetos**, 2014.

UNE-112-011, **Norma Española**. Corrosión en armaduras. Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio. 1994.

VALERO, L. R.; SASSO, V. F.; VICIOSO, E. P. In situ assessment of superficial moisture condition in façades of historic building using non-destructive techniques. **Case Studies in Construction Materials**, v. 10, p. e00228, 2019.

WEIMER, B. F.; THOMAS, M.; DRESCH, F. Patologia das estruturas. Porto Alegre: **Saga Educação SA**, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595023970/> Acesso em: 08 nov. 2024.