



Ministério da Educação
Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território
Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura
Engenharia Civil de Infraestrutura

**DIAGNÓSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS POR MEIO DE
ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO DE
FALHAS EM ESCOLA MUNICIPAL DE FOZ DO IGUAÇU.**

JOABE ELIAZAR RODRIGUES GERKE

Foz do Iguaçu, PR
Dezembro 2025



Ministério da Educação
Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território
Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura
Engenharia Civil de Infraestrutura

**DIAGNÓSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS POR MEIO DE
ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO DE
FALHAS EM ESCOLA MUNICIPAL DE FOZ DO IGUAÇU.**

JOABE ELIAZAR RODRIGUES GERKE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da UNILA, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. PAULO JUNGES

Foz do Iguaçu, PR
18 de Dezembro de 2025

JOABE ELIAZAR RODRIGUES GERKE

**DIAGNÓSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS POR MEIO DE ENSAIOS
NÃO DESTRUTIVOS E PROPOSTAS DE RECUPERAÇÃO DE FALHAS EM ESCOLA
MUNICIPAL DE FOZ DO IGUAÇU.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Latino-Americano
de Tecnologia, Infraestrutura e Território da
Universidade Federal da Integração Latino-
Americana, como requisito para a obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Paulo Junges
UNILA

Prof. Dr. Aref Kalilo Lima Kzam
UNILA

Profa. Dra. Edna Possan
UNILA

Foz do Iguaçu, 18 de dezembro de 2025.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, fonte de toda sabedoria e ciência, Aquele que fundou os mares e firmou os rios, que chama cada estrela pelo seu nome e que ordenou e orquestrou a Terra e os mundos. A Ele, que não tendo ninguém para lhe ensinar, mas possuindo, desde a eternidade, a Sabedoria como Sua primeira Aluna, rendo graças por ter-me concedido condições, capacidade e sustento em todos os momentos.

A minha melhor amiga, minha amada esposa, Adrielli, por ter confiado em mim mesmo quando eu tinha tão pouco, pelos seus incentivos e pela paciência.

A minha mãe, por todo apoio e motivação ao longo desses anos de caminhada em prol do meu sucesso, pelo exemplo de superação e persistência diante dos objetivos e sonhos.

Aos meus colegas de turma, que de alguma forma fizeram parte da minha caminhada, pela amizade e parcerias em momentos decisivos de estudos.

À Universidade Federal da Integração Latino-Americana, por ter me proporcionado ensino de qualidade, bem como meu crescimento intelectual e profissional.

Em especial, ao professor Dr. Paulo Junges, pela orientação, pelo companheirismo e pelos ensinamentos. Fazendo parte dessa jornada como um dos exemplos de pessoa e profissional que vale a pena ser seguido.

A todos meus professores, que cada qual com suas experiências, vivências e virtudes, me mostraram durante esta caminhada as diferentes perspectivas profissional e pessoal, cada qual com seus métodos e disciplinas, hora mais rígidos ou mais flexíveis, mais serios ou descontraído, mas cada qual mostrou as distintas formas e critérios da aprendizagem e ensino, nos fazendo amadurecer e crescer como indivíduo, para um futuro promissor.

Agradeço, por fim, mas não menos importante, aos professores desta banca, Aref Kzam e Edna Possan, pela avaliação e presença na banca examinadora deste trabalho.

‘E conhecerão a verdade, e a verdade os
libertará.’

(João, 8; 32)

RESUMO

Por meio da integração entre revisão bibliográfica, inspeção em campo e Ensaio Não Destrutivos (ENDs), como pacometria, esclerometria e ultrassom, buscou-se gerar um entendimento aprofundado sobre o comportamento das manifestações patológicas da estrutura, destacando a importância da manutenção preventiva e da gestão do ciclo de vida da edificação. Este trabalho teve como objetivo principal realizar o diagnóstico técnico das manifestações patológicas em uma edificação escolar pública, com base na aplicação de ensaios não destrutivos, análise visual detalhada e fundamentação teórica consolidada. O estudo compreendeu o levantamento das anomalias presentes, a identificação de suas possíveis causas e mecanismos de propagação, bem como a proposição de técnicas para sua prevenção e/ou correção. Os resultados revelaram danos internos significativos mesmo em falhas aparentemente superficiais, com destaque para a crítica condição do reservatório, cuja degradação combinada (infiltrações, corrosão e descontinuidade estrutural) configurou-se como a principal preocupação. A aplicação da Matriz GUT (Gravidade, Urgência, Tendência) permitiu priorizar as intervenções de forma objetiva e economicamente racional, reforçando que a manutenção predial é um investimento essencial, não um custo. Assim, este estudo não apenas propõe soluções técnicas de recuperação, mas também defende uma mudança de paradigma na gestão de edificações públicas, para uma abordagem preventiva, contínua e baseada em evidências, visando assegurar um ambiente escolar seguro, saudável e digno para toda a comunidade educacional.

Palavras-chave: Manifestação Patológicas; Diagnóstico; Ensaios Não Destrutivos; Manutenção Preventiva; Matriz GUT; Escola Pública.

ABSTRACT

Through the integration of a literature review, on-site inspection, and NDTs such as rebar detection (pacometry), rebound hammer testing (sclerometry), and ultrasound, an in-depth understanding of the behavior of structural pathological manifestations was sought, highlighting the importance of preventive maintenance and life-cycle management of the building. This work had as its main objective to carry out the technical diagnosis of pathological manifestations in a public school building, based on the application of non-destructive testing, detailed visual analysis, and a consolidated theoretical foundation. The study included the survey of existing anomalies, the identification of their possible causes and propagation mechanisms, as well as the proposal of techniques for their prevention and/or correction. The results revealed significant internal damage even in apparently superficial defects, with emphasis on the critical condition of the reservoir, whose combined deterioration (leakage/infiltration, corrosion, and structural discontinuity) was identified as the main concern. The application of the GUT Matrix made it possible to prioritize interventions in an objective and economically rational manner, reinforcing that building maintenance is an essential investment, not a cost. Thus, this study not only proposes technical recovery solutions, but also advocates a paradigm shift in the management of public buildings toward a preventive, continuous, and evidence-based approach, aiming to ensure a safe, healthy, and dignified school environment for the entire educational community.

Keywords: Pathological Manifestations; Diagnosis; Non-Destructive Testing; Preventive Maintenance; GUT Matrix; Public School.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Nicho de concretagem	19
Figura 2 – Desagregação do concreto em pilar.....	20
Figura 3 – Processo de corrosão em pilar.....	21
Figura 4 – Modelo de Tutti para efeito de corrosão.....	22
Figura 5 – Modelo de Tutti para corrosão adaptado.....	23
Figura 6 – Manifestações típicas de corrosão.....	24
Figura 7 – Configurações genéricas de fissuras em função do tipo de sollicitação.....	25
Figura 8 – Fissuras em Lajes	26
Figura 9 – Fissura por retração	27
Figura 10 – Fissuras por Flexão.....	28
Figura 11 – Fissura por cisalhamento.....	28
Figura 12 – Fissura por retração hidráulica.....	28
Figura 13 – Manifestações típicas de fissuras em pilares.....	29
Figura 14 – Processo de fissuração térmica em parede.....	30
Figura 15 – Fissuras típica por retração higroscópica.....	30
Figura 16 – Fissura por efeito de umidade do solo.....	31
Figura 17 – Fissura típica de acúmulo de tensões.....	31
Figura 18 – Fissura por recalque diferencial de fundação.....	32
Figura 19 – Manifestação de eflorescência em edificação.....	33
Figura 20 – Manifestação de bolor em parede.....	34
Figura 21 – Aplicação ensaio de pacometria.....	38
Figura 22 – Aplicação ensaio de Esclerometria.....	39
Figura 23 – Gabarito reticulado para distribuição uniforme da área de ensaio.....	39
Figura 24 – Instrumento de Medidor de Pulso Ultrassônico (UPV) com seus transdutores, emissor (esquerda) e receptor (direita).....	40
Figura 25 – Medição direta de ensaio ultrassom.....	41
Figura 26 – Medição indireta de ensaio ultrassom.....	42
Figura 27 – Transmissão indireta de ondas no ensaio de ultrassom	42
Figura 28 – Medição semidireta de ensaio ultrassom.....	42
Figura 29 – Fluxograma da metodologia aplicada no processo de avaliação da estrutura.....	44
Figura 30 – Integração da localização de objeto de estudo.....	45
Figura 31 – Localização do objeto de estudo em Foz do Iguaçu.....	45
Figura 32 – Vista Frontal da EMEF Ponte da Amizade.....	46

Figura 33 – Linha do Tempo da EMEF Ponte da Amizade.	50
Figura 34 – Localização da manifestação patológica	51
Figura 35 – Manifestação patológica interface pilar-viga PV 07 e detalhe de trinca	51
Figura 36 – Ilustração de medição da abertura no pilar de manifestação PV 07	52
Figura 37 – Aplicação da pacometria para localização de armadura.	53
Figura 40 – Pontos para análise em ensaio de ultrassom.....	55
Figura 41 – Aplicação de injeção com resina epóxi	57
Figura 42 – Localização e identificação de região ensaiada.	58
Figura 43 – Regiões utilizadas para ensaio de esclerometria em laje estudada	58
Figura 44 – Regiões para aplicação de ensaio ultrassom para laje de circulação.....	60
Figura 45 – Representação dos pontos de ensaio ultrassom em área A2, análogo para A1.....	61
Figura 46 – Localização de região estudada.....	63
Figura 47 – Manifestações patológicas na laje da região estudada.	63
Figura 48 – Delimitação de área para ensaio de esclerometria	64
Figura 49 – Aplicação do ensaio de esclerometria em laje de reservatório.64	
Figura 50 – Área para ensaio de ultrassom em região de reservatório.....	66
Figura 51 – Área A1 (esquerda) e A2 (direita) utilizada para ensaio de ultrassom em laje do reservatório.	66
Figura 52 – Área PF para ensaio de ultrassom em reservatório.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação de Fissuração.....	24
Tabela 2 – Classificação matriz GUT para Gravidade.....	35
Tabela 3 – Classificação matriz GUT para Urgência.....	36
Tabela 4 – Classificação matriz GUT para Tendência.....	36
Tabela 5 – Quadro resultado de índice esclerométrico para pilar-viga.....	54
Tabela 6 – Resumo de índice esclerométrico em pilar-laje.....	54
Tabela 7 – Resultados da aplicação ensaio de ultrassom.....	56
Tabela 8 – Quadro resultado de índice esclerométrico para laje da circulação.	59
Tabela 9 – Resumo de índice esclerométrico em laje da circulação.....	59
Tabela 10 – Quadro dos resultados de ultrassom para região da laje de circulação.....	61
Tabela 11 – Quadro resultado de índice esclerométrico para região do reservatório.....	65
Tabela 12 – Resumo de índice esclerométrico em região do reservatório.....	65
Tabela 13 – Quadro dos resultados de ultrassom para região de reservatório	67
Tabela 14 – Aplicação de metodologia GUT para priorização da manifestação	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas

ECI – Engenharia Civil de Infraestrutura

EMEF – Escola Municipal de Ensino Fundamental

END – Ensaio Não Destrutivo

PPEEURD – Planejamento, Projeto, Execução, Entrega de obra, Uso, Reabilitação, Desconstrução.

VPU – Velocidade de Pulso Ultrassônico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	13
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 Manifestações Patológicas	18
3.1.1 Nichos de Concretagem	18
3.1.2 Desagregação do concreto	19
3.1.3 Corrosão de armadura	20
3.1.4 Fissuras	24
3.1.5 Eflorescência	32
3.1.6 Bolor.....	33
3.1.7 Método de aplicação da matriz GUT.....	34
3.2 Ensaio Não Destrutivos.....	36
3.2.1 Ensaio de Pacometria	37
3.2.2 Ensaio de Esclerometria.....	38
3.2.3 Ensaio de Ultrassom	39
3.2.4 Análise Visual	42
4 MÉTODO E MATERIAIS	44
4.1 Objeto de Estudo	45
4.2 Vistoria preliminar	46
4.3 Inspeção	46
4.3 Exames (Pacometria, Esclerometria, Ultrassom).....	47
4.4 Diagnóstico	48
4.5 Reabilitação e Aplicação da Matriz GUT	48
5 RESULTADOS	49
5.1 Vistoria e Inspeção do caso	49
5.2 Diagnóstico das manifestações patológicas	50
5.2.1 Manifestação patológica em interface de pilar-viga PV 07	50
5.2.2 Manifestação patológica em laje (região de circulação).....	57
5.2.3 Manifestação patológica em região de reservatório	62
5.3 Classificação das manifestações patológicas pela matriz GUT	68
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Na engenharia civil, as manifestações patológicas são entendidas como sintomas de anomalias que indicam a perda (ou a tendência de perda) de desempenho e durabilidade de sistemas construtivos, podendo se expressar por fissuras, destacamentos, infiltrações, eflorescências, corrosão de armaduras, deformações excessivas e outros indícios de degradação. A literatura técnica ressalta que esses sinais, embora frequentemente percebidos como “problemas pontuais”, em geral resultam da interação entre agentes de deterioração e vulnerabilidades introduzidas ao longo do ciclo de vida da edificação (decisões de projeto, execução, especificação de materiais, condições de exposição, uso e manutenção), exigindo abordagem diagnóstica que relacione causas, mecanismos e consequências (SOUZA; RIPPER, 1998). Em estruturas de concreto armado, por exemplo, processos como o ingresso de agentes agressivos, a presença de umidade e reações físico-químicas podem desencadear mecanismos progressivos de deterioração, com repercussões diretas sobre a vida útil (MEHTA; MONTEIRO, 2014). No campo normativo, essa perspectiva se conecta às exigências de desempenho ao longo do tempo e à necessidade de gestão da manutenção, conforme diretrizes como a NBR 15575 (ABNT, 2013) e a NBR 5674 (ABNT, 2023), reforçando que a identificação precoce e a correta caracterização das manifestações patológicas são fundamentais para orientar intervenções técnicas e reduzir a recorrência de falhas. Quando esse fenômeno ocorre em edificações públicas de uso contínuo e coletivo, como em unidades escolares, seus efeitos ultrapassam a dimensão técnica, uma vez que podem comprometer condições de segurança, salubridade e funcionalidade do ambiente, impactando diretamente a qualidade do serviço público ofertado à população.

Assim, a Constituição Federal instituída em 1988 estabelece, em seu art. 205, que “*A educação, direito de todos e dever do Estado e da família, será promovida e incentivada com a colaboração da sociedade, visando ao pleno desenvolvimento da pessoa, seu preparo para o exercício da cidadania e sua qualificação para o trabalho*” (Brasil, 1988, cap. III. art. 205). Diante desse compromisso com a sociedade, o Estado deve atender e suprir tais demandas, por meio da construção de escolas, contratação de servidores, fornecimento de alimentação, entre outras ações, desde a educação infantil ao ensino médio. No entanto, tais obras civis públicas, geralmente possuem

déficit em suas manutenções, que por conseguinte ocasionam assim, distintas manifestações patológicas. Um estudo realizado pelos Tribunais de Contas brasileiros, envolvendo 1.088 escolas em 537 cidades de todo o Brasil, revelou que 57% das unidades avaliadas possuem salas de aula inadequadas e enfrentam problemas de infraestrutura relacionados à acessibilidade, estrutura e conservação (Atricon, 2023).

Diante das perspectivas apresentadas, observa-se que, nos diferentes níveis da administração pública municipal, estadual e federal, ainda prevalece uma cultura institucional voltada prioritariamente à execução de novas obras de infraestrutura, em detrimento das ações de manutenção. Essa prática contribui, frequentemente, para o agravamento de problemas já existentes e para o aumento dos custos públicos a longo prazo, uma vez que demanda reparos emergenciais ou, em casos mais críticos, reconstruções completas. Tal cenário evidencia a carência de um planejamento contínuo e eficaz, sobretudo no que se refere à manutenção preventiva, sendo elemento essencial para assegurar a durabilidade, a segurança e o desempenho adequado das estruturas ao longo do tempo. Assim, torna-se essencial investigar quais são as manifestações patológicas presentes na estrutura da Escola Municipal de Ensino Fundamental (EMEF) Ponte da Amizade e de que maneira os Ensaio Não Destrutivos (ENDs) podem contribuir para um diagnóstico preciso, subsidiando a elaboração de um planejamento de manutenções corretivas e preventivas que assegurem o bem-estar da comunidade escolar.

A patologia das construções é um campo da engenharia civil dedicado à análise das falhas, defeitos e mecanismos responsáveis por alterações no aspecto estrutural das edificações. Segundo Helene et al. (2004), a patologia, nas engenharias, pode ser definida como o ramo que se dedica à análise dos problemas que afetam as construções, investigando suas origens, causas, formas de manifestação e os principais mecanismos responsáveis pela deterioração dos sistemas construtivos. Trata-se de uma área de grande relevância no contexto da engenharia civil, uma vez que contribui significativamente para a melhoria da qualidade, do desempenho e da durabilidade das construções, visando à prevenção e à mitigação de processos de degradação que comprometam a integridade das estruturas (NAZÁRIO; ZACAN, 2011).

Com base nesse entendimento, o estudo das manifestações patológicas considera todas as fases do ciclo de vida da edificação. A Engenharia Diagnóstica, por meio do modelo PPEEURD, propõe uma análise que abrange desde a concepção

da obra até a extinção da edificação, sendo sua sigla explicativa, começando pela fase de *Planejamento* e de *Projeto*, seguindo da *Execução* e *Entrega da obra*, depois pelas fases de *Uso*, *Reabilitação* e *Desconstrução* (Gomide; Flora, 2023). Nessa perspectiva, torna-se essencial a realização de diagnósticos técnicos, os quais possibilitam identificar inconformidades de projeto, avaliar o grau de risco das anomalias e verificar o nível de desempenho e manutenção da edificação, na determinação de sua causa, origem e mecanismo de ação da manifestação patológica. Assim, no presente estudo, essa variedade de diagnósticos será representada pela “árvore diagnóstica”. Essa árvore será classificada em dois ramos: o do desempenho e o da patologia. O primeiro ramo trata das investigações de requisitos de qualidade e suas complexidades. Já o segundo ramo está relacionado diretamente ao estudo das falhas construtivas e suas manifestações. Dessa maneira, conforme exposto por Gomide et al (2021), os diagnósticos técnicos irão visar não apenas o aprimoramento da qualidade das edificações, mas também a apuração de responsabilidades.

Nesse contexto, impõe-se a adoção de critérios e instrumentos de priorização que orientem, de forma objetiva, as intervenções decorrentes dos diagnósticos técnicos. Entre as ferramentas desenvolvidas, destaca-se a Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), que de acordo Martins et al. (2017), a Gravidade (G) indica a importância e o potencial de dano do problema; a Urgência (U), o prazo para solucioná-lo; e a Tendência (T), a chance de agravamento com o tempo, ou seja, permitirá classificar os problemas de acordo com sua severidade, o tempo de resposta e a probabilidade de agravar ao longo do tempo. Nesse sentido, a utilização da Matriz GUT possibilita a categorização nas análises a fim de gerar maior eficiência das intervenções de recuperação e manutenção a ser executada, que por conseguinte, auxiliará no objeto de estudo deste trabalho.

Neste âmbito, o presente trabalho de conclusão de curso busca a partir da identificação das manifestações patológicas, realizar ENDs e inspeções visuais com o propósito de desenvolver um diagnóstico mais aprofundado das patologias presentes na Escola Municipal Ensino Fundamental - EMEF Ponte da Amizade, localizada em Foz do Iguaçu - PR, com foco na promoção de um ambiente mais seguro e adequado ao bem-estar de seus usuários. Esse diagnóstico aprofundado poderá, assim, subsidiar futuras ações de manutenção na edificação.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Diagnosticar as manifestações patológicas presentes no edifício da Escola Municipal de Ensino Fundamental - EMEF Ponte da Amizade, por meio de ensaios não destrutivos e de inspeções visuais, visando à identificação de suas causas e ao embasamento técnico para futuras intervenções de recuperação e manutenção.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar as condições dos elementos construtivos do edifício, aplicando Ensaios Não Destrutivos e Inspeções Visuais;
- b) Analisar as possíveis causas e origens das manifestações patológicas identificadas;
- c) Sugerir ordem de priorização para a recuperação das falhas identificadas com auxílio da matriz GUT, bem como propostas técnicas preventivas e/ou paliativas para evitar o reaparecimento das manifestações patológicas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As manifestações patológicas em edificações têm-se tornado um tema de destaque no campo da Engenharia Civil, especialmente quando associadas a edificações públicas, como escolas, que desempenham papel essencial na formação social e educacional da população. Assim, faz-se necessária a compreensão dessas situações, e, de acordo com Garcia e Albuquerque (2025), o diagnóstico de tais anomalias construtivas deve ser embasado em uma abordagem multidisciplinar, que contemple não apenas os aspectos técnico-construtivos, como propriedades dos materiais e processos executivos, mas também variáveis relacionadas às condições de uso, manutenção e exposição ambiental ao longo do tempo.

A durabilidade das edificações escolares públicas muitas vezes evidencia fragilidades ao que se refere à conservação de suas estruturas, comprometida por limitações orçamentárias e ausência de planos de manutenção preventiva, que tornam tais estruturas particularmente suscetíveis à degradação precoce. Segundo Ripper e Souza (1998), a estabilidade das estruturas deve considerar não apenas os esforços mecânicos, mas também a ação de agentes externos, como umidade, variações térmicas e ações físicas e químicas que afetam diretamente o desempenho dos materiais. No caso das escolas, onde o uso constante e intenso é uma característica marcante, torna-se ainda mais urgente considerar a influência desses fatores, e em alguns casos, de intervenções feitas sem respaldo técnico, que podem por conseguinte, acelerar o processo de deterioração dos elementos construtivos.

Nesse cenário, a Engenharia Diagnóstica se destaca como instrumento essencial para a identificação e análise das manifestações patológicas. Gomide et al (2021), propõe um conjunto de ferramentas inter-relacionadas que permitem não só a constatação visual dos sintomas, mas, sobretudo, a compreensão de suas causas e do nível de comprometimento estrutural. Por meio dessa abordagem, é possível construir um diagnóstico técnico consistente, por meio da fundamentação em padrões normativos e em metodologias reconhecidas, como o descrito na NBR 5674 (ABNT, 2024), a qual orienta desde a coleta de dados até o prognóstico e a recomendação de reparos. Tal abordagem se torna ainda mais relevante em ambientes escolares, onde a segurança e o bem-estar dos usuários (majoritariamente crianças) devem ser priorizados.

3.1 Manifestações Patológicas

As manifestações patológicas em edificações correspondem a anomalias e falhas observáveis em sistemas e elementos construtivos como, fissuração, infiltrações, destacamentos de revestimentos e corrosão de armaduras, resultantes da interação entre decisões de projeto, especificação e qualidade de materiais, execução, uso e ações ambientais (SOUZA; RIPPER, 1998; MEHTA; MONTEIRO, 2008). A compreensão de suas causas, mecanismos e sintomas é condição essencial para assegurar segurança, durabilidade, habitabilidade e o desempenho global das edificações, em consonância com as diretrizes da NBR 15575-2 (ABNT, 2013), a norma de Desempenho, e com práticas de inspeção predial estruturadas pela NBR 16747 (ABNT, 2020). Este capítulo apresenta, de forma objetiva, os conceitos fundamentais, a classificação e os mecanismos das principais manifestações patológicas.

3.1.1 Nichos de Concretagem

As falhas conhecidas como nichos de concretagem ou, em termos técnicos, zonas com deficiência de compactação, consistem em vazios ou descontinuidades no corpo do concreto, geralmente resultantes de processos inadequados durante a fase de lançamento e adensamento. Tais manifestações patológicas, conforme ilustrado na **Figura 1**, comprometem diretamente a densidade e a homogeneidade do material, afetando negativamente sua resistência mecânica e durabilidade, além de auxiliar a corrosão das armaduras em virtude da exposição direta a agentes agressivos. Segundo Neville e Brooks (2013), a presença de vazios no concreto não apenas enfraquece a integridade estrutural do elemento, como também facilita a penetração de umidade, dióxido de carbono e íons de cloreto, promovendo a deterioração precoce da armadura e, portanto, da estrutura como um todo.

Figura 1– Nicho de concretagem

Fonte: BERNADO, 2019.

Do ponto de vista técnico, a gênese desta manifestação patológica está frequentemente associada à baixa trabalhabilidade do concreto, ausência de controle no lançamento (em especial por elementos verticais onde as alturas de queda excedem os limites normativos), alta taxa de armaduras que dificulta a fluidez da mistura, e ao uso inadequado ou inexistente de adensamento mecânico. De acordo com Neville (2016), o adensamento eficaz é um dos requisitos fundamentais para assegurar a compactação dos agregados e a eliminação de bolsões de ar, sendo essencial principalmente em peças com grande densidade de armaduras ou formas com geometria desfavorável à movimentação do concreto.

A prevenção de nichos de concretagem exige cumprimento rigoroso às boas práticas executivas e aos parâmetros estabelecidos pelas normas técnicas vigentes, como a NBR 14931 (ABNT, 2004), por exemplo, que determina critérios para o controle do lançamento e do adensamento, apontando a importância de uma sequência planejada e contínua da concretagem. Outrossim, a NBR 6118 (ABNT, 2023) estabelece diretrizes para o controle tecnológico e para a verificação da integridade das estruturas.

3.1.2 *Desagregação do concreto*

A desagregação do concreto caracteriza-se pela perda de coesão entre a pasta cimentícia e os agregados, ocasionando a fragmentação da peça. Esse fenômeno compromete a capacidade estrutural, aumenta a porosidade e pode expor as armaduras, acelerando processos de corrosão e agravando para demais manifestações patológicas, como ilustra a **Figura 2**. Segundo Piancastelli (2005), a

manifestação inicial da desagregação inclui alterações cromáticas (coloração) do concreto e surgimento de fissuras cruzadas, que tendem a aumentar, evidenciando a deterioração do poder aglomerante do cimento.

As principais causas da desagregação envolvem tanto fatores construtivos quanto ambientais, dentre estes, destacam-se: dosagem inadequada (relação água/cimento elevada, mistura deficiente), cura insuficiente, ataque químico por sulfatos, exposição a águas agressivas (servidas, pluviais ou industriais) e ação microbiológica de fungos e bactérias. Além disso, a exposição prolongada a substâncias agressivas, como ácidos orgânicos ou sulfetos, pode desencadear a decomposição da matriz cimentícia, favorecendo o deslocamento e a perda de integridade estrutural (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 2 – Desagregação do concreto em pilar



Fonte: SILVA; LAURSEN, 2022.

3.1.3 Corrosão de armadura

A corrosão das armaduras é uma das manifestações patológicas mais recorrentes e perigosas em estruturas de concreto armado. Relaciona-se a um processo eletroquímico que ocorre quando a proteção alcalina natural do concreto é comprometida, expondo o aço às condições que favorecem a oxidação. Essa deterioração não afeta apenas a integridade do aço, mas também induz a fissuração e deslocamento do concreto de cobertura, comprometendo assim o desempenho estrutural ao longo do tempo (SOUZA; RIPPER, 1998; BERTOLINI et al., 2004). Para o concreto na qual a solução dos poros está com pH acima de 11,5, a estabilidade da

película de passivação¹ (responsável pela proteção da armadura) se mantém inalterada e o processo de corrosão não se instala. Todavia, à medida que o dióxido de carbono (CO_2), contido no ar, entra em contato e penetra no concreto, ocorrem reações químicas que levam à diminuição da alcalinidade da solução dos poros do concreto e a carbonatação se inicia. Nesse processo, o dióxido de carbono reage com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) presente na pasta de cimento, formando carbonato de cálcio (CaCO_3) e reduzindo o pH a valores críticos (< 9), e com essa redução, há um comprometimento da estabilidade da película de passivação, promovendo assim, a corrosão da armadura (**Figura 3**) (MEIRA, 2017). A velocidade deste processo está diretamente relacionada à porosidade, ao cobrimento mínimo de concreto e às condições ambientais, especialmente a umidade.

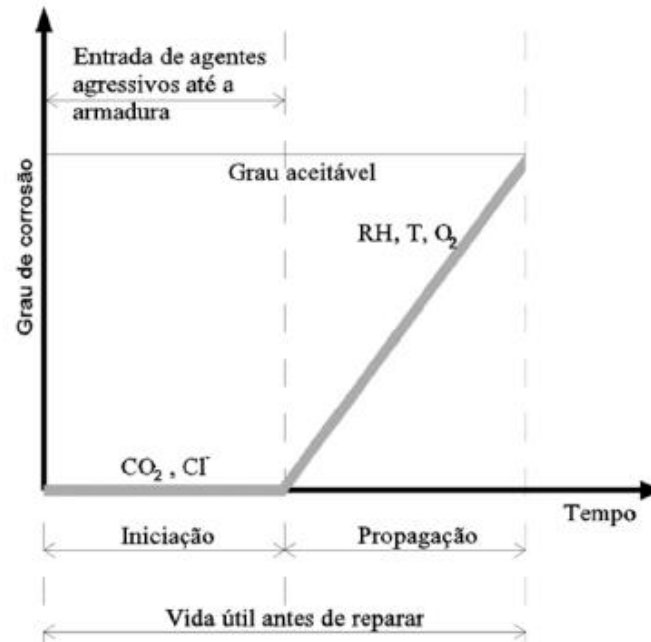
Desta forma, a oxidação do aço gerará produtos volumosos (óxidos e hidróxidos de ferro) que ocupam até seis vezes o volume da armadura original. Essa expansão cria tensões internas, e sendo o concreto incapaz de resistir a tais tensões, provocam fissuras longitudinais no cobrimento do concreto e, em estágios avançados, o deslocamento. Com o avanço do processo, a estrutura perde aderência, rigidez e resistência, e pode evoluir para situações de instabilidade ou colapso local. De acordo com Tutti (1982), esse processo pode ser dividido em duas fases: iniciação (perda da passivação) e propagação (oxidação ativa e falha estrutural iminente), conforme **Figura 4**.

Figura 3 – Processo de corrosão em pilar



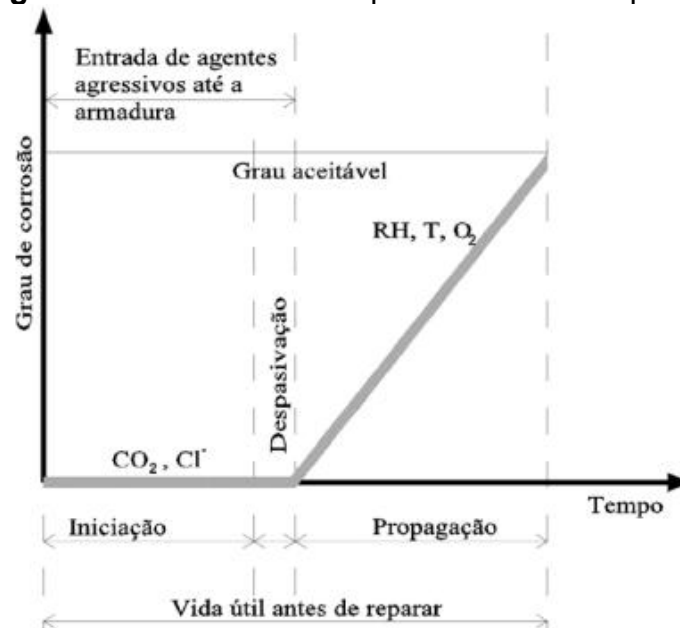
Fonte: SOUZA; DE PAULA, 2023.

¹ **película de passivação:** filme passivo formado a partir de uma rápida e extensa reação eletroquímica, que gera produtos de corrosão agrupados em uma fina camada aderida à superfície do aço (POURBAIX, 1987). Considerando sua elevada compacidade e mantida sua estabilidade, esse filme contribui para taxas de corrosão desprezíveis, sem maiores consequências a longo prazo (MEIRA, 2017).

Figura 4 – Modelo de Tutti para efeito de corrosão

Fonte: MEIRA (2017) apud TUTTI, 1982.

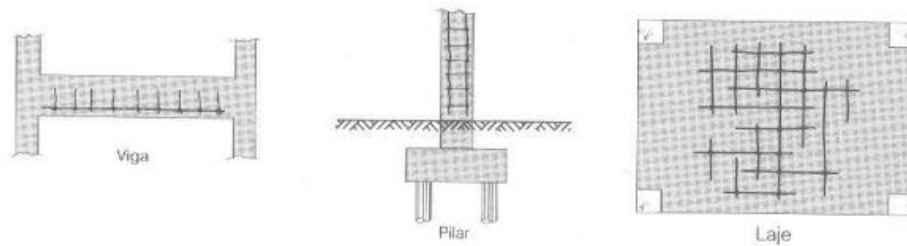
De acordo com Meira (2017), a fase de iniciação se dá pela penetração dos agentes agressivos até a perda da película de passivação (despassivação), influenciada pela qualidade do meio e das características dos materiais. Já a propagação, é a sequência, dada pela despassivação da armadura ao desenvolvimento das reações de corrosão. Entretanto, por meio de estudos e análise, foi proposta uma fase intermediária: a despassivação. Isso porque a perda da proteção do aço não ocorre de forma imediata, mas sim dentro de um intervalo de tempo. Assim, o modelo de Tutti passa a ter três fases: iniciação, despassivação e propagação, ilustrado na **Figura 5**, permitindo uma interpretação mais realista e gradual do início do processo corrosivo (MEIRA, 2017).

Figura 5 – Modelo de Tutti para corrosão adaptado

Fonte: MEIRA (2017) apud TUTTI, 1982.

Outrossim, a presença de íons de cloreto representa também uma das causas mais significativas da corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado, principalmente em ambientes costeiros, industriais, entre outros. Diferentemente da corrosão por carbonatação, tal ação de cloretos pode ocorrer mesmo em meio alcalino, pois esses íons têm a capacidade de romper a película passiva que naturalmente se forma ao redor do aço embutido no concreto. Uma vez iniciada esta corrosão é, em geral, localizada e intensa, levando a perdas severas de seção da armadura, o que compromete gravemente o desempenho estrutural (BERTOLINI et al., 2013).

A principal forma de sua entrada para a ação, se dá pela matriz cimentícia, dada por difusão, facilitada por condições de instabilidade natural (alta umidade, variação de temperatura) e baixa qualidade do concreto (alta porosidade e microfissuração). Ao atingir a armadura, os íons de cloreto promovem a corrosão por pite, caracterizada pela formação de pontos de ataque profundo e isolado. Tais pontos não geram sinais aparentes, porém com a progressão do processo, podem ser observados alguns indícios físicos característicos, como manchas de ferrugem localizadas, descolamento do revestimento, fissuras longitudinais acompanhando a armadura, entre outras, ilustradas na **Figura 6**.

Figura 6 – Manifestações típicas de corrosão.

Fonte: HELENE, 1992.

3.1.4 Fissuras

As fissuras representam uma das manifestações patológicas mais prevalentes em estruturas de concreto armado, sendo responsáveis por comprometer a durabilidade, a impermeabilidade e até a capacidade estrutural do elemento. Segundo Neville (2016), fissuras podem ser definidas como aberturas lineares na superfície do concreto resultantes da perda de coesão interna do material, frequentemente associadas a retrações, cargas excessivas ou movimentações térmicas e higroscópicas (umidade). De modo geral, situações inferiores a 0,5 mm são classificadas como fissuras, enquanto aberturas maiores podem ser identificadas como trincas, rachaduras, entre outras, com potencial mais elevado de comprometimento estrutural. Da mesma maneira, relacionando-se a classificação das fissuras, e, considerando as diversas referências no meio acadêmica de classificações a se utilizar, a partir das literaturas amplamente reconhecidas no meio acadêmico, será apresentada uma síntese da classificação utilizada para o presente estudo (**Tabela 1**).

Tabela 1 – Classificação de Fissuração.

Nomenclatura	Largura/Espessura (mm)
Fissura Capilar	< 0,05 mm
Fissura Fina	0,05 mm - 0,1 mm
Fissura Moderada	0,1 mm - 0,3 mm
Fissura Larga	0,3 mm - 0,5 mm
Trinca	0,5 mm - 1,0 mm
Rachadura Funcional	1,0 mm - 3,0 mm

Rachadura Crítica	3,0 mm - 5,0 mm
Fissura Severa / Ruptura Parcial	5,0 mm - 10,0 mm
Fratura	> 10,0 mm

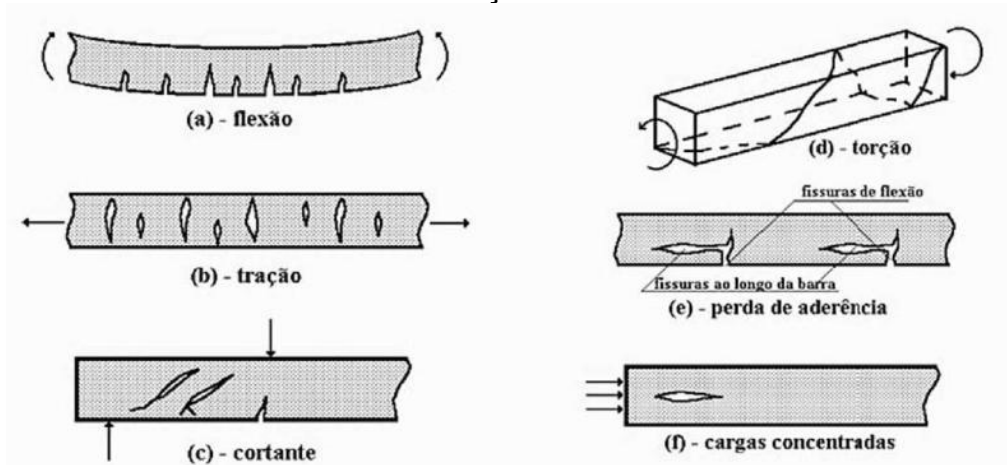
Fonte: AUTOR, 2025.

A compreensão das fissuras é fundamental para engenheiros, arquitetos e profissionais da construção civil, pois essas irão atuar como caminhos preferenciais para a penetração de agentes agressivos, tais como íons de cloreto, dióxido de carbono e água, que influenciam os processos de carbonatação e corrosão das armaduras. A depender de sua origem e da morfologia, podem ainda prejudicar o desempenho funcional e estético do sistema construtivo, além de demandarem intervenções corretivas onerosas quando negligenciadas (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Assim, a forma como as fissuras se propagam/desenvolvem nos elementos como pilares, vigas, lajes e paredes, está diretamente relacionada à natureza dos esforços solicitantes e aos mecanismos que originam tais manifestações. O entendimento dessa correlação permite não apenas classificar adequadamente as fissuras, mas também estabelecer diagnósticos mais precisos e propor intervenções eficazes.

Segundo Souza e Ripper (1998), as diversas configurações de fissuras em virtude do tipo de esforço a que estão submetidas as peças estruturais podem ser ilustradas como indicado na **Figura 7**.

Figura 7 – Configurações genéricas de fissuras em função do tipo de solicitação.



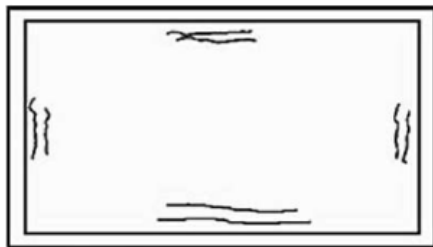
Fonte: SOUZA; RIPPER, 1998.

- Fissura em Lajes

Nas lajes, as fissuras se propagam de modo distinto, em função da tipologia do elemento (laje maciça, nervurada, protendida) e das condições de carregamento. Nas lajes apoiadas diretamente sobre pilares, um fenômeno recorrente é a fissuração por punção, que se inicia na face inferior da laje e se propaga radialmente ao redor do apoio, formando fissuras circulares ou poligonais. Estas fissuras indicam a sobrecarga localizada e a iminência de falha frágil por cisalhamento bidirecional (SOUZA; RIPPER, 1998).

As fissuras por flexão, com surgimento na face inferior das lajes, ocorrem devido a condição de insuficiência de armadura, deficiência de armadura, ao comprimento de ancoragem insuficiente, a não previsão de sobrecarga e a desforma precoce. Outrossim, o surgimento de fissuras na face superior das lajes ocorre de modo análogo, porém originadas por momentos distintos (HELENE, 1992; OLIVARI, 2003). Segundo Souza e Ripper (1998), a exemplificação dos casos devido a deficiência de capacidade em lajes pode ser ilustrada conforme indica a **Figura 8**.

Figura 8 – Fissuras em Lajes



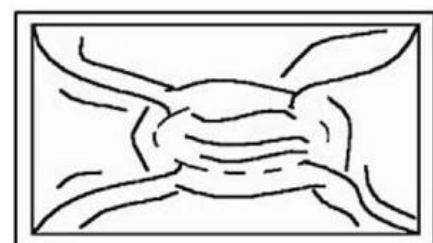
a) Fissuração por esmagamento do concreto, por reduzida espessura da laje. As fissuras surgem na face inferior, por deficiência diante dos momentos negativos



b) Fissuração de flexão, devido à insuficiência de armadura para os momentos negativos. As fissuras surgem na face superior.



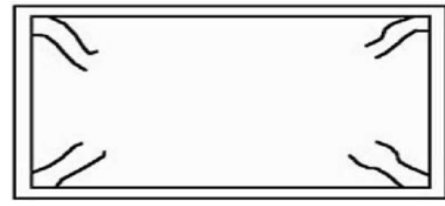
c) Fissuração por esmagamento do concreto, devido à reduzida espessura da laje. As fissuras surgem na face superior, por deficiência diante dos momentos positivos.



d) Fissuração por flexão, devido à insuficiência de armadura para os momentos positivos. As fissuras surgem na face inferior.



e) Fissuração por deficiência de armaduras para combate aos momentos volventes, na face superior da laje.

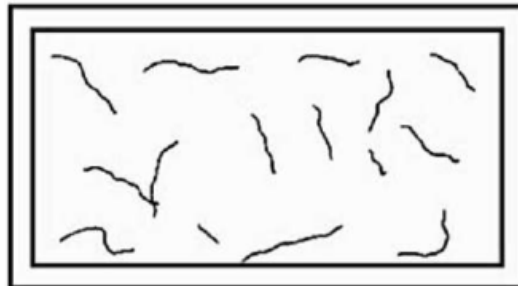


f) Fissuração por deficiência de armaduras para combate aos momentos volventes, na face inferior da laje.

Fonte: SOUZA; RIPPER, 1998.

Além das fissuras ilustradas na Figura 8, podem surgir ainda fissuras em “teia de aranha” ou em forma de mosaico, geralmente associadas à retração plástica ou térmica, sobretudo nas primeiras horas após a concretagem (**Figura 9**). Sua propagação está relacionada à rápida evaporação da água superficial, falta de cura ou variações térmicas acentuadas (NEVILLE, 2016).

Figura 9 – Fissura por retração



Fonte: SOUZA; RIPPER, 1998.

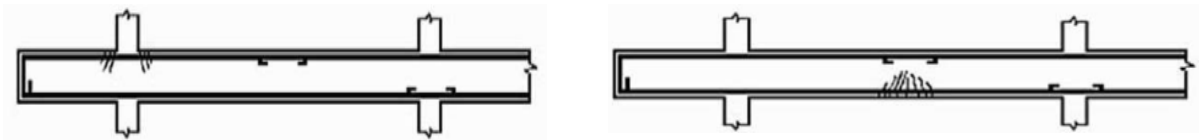
- Fissura em Vigas

Com relação às vigas, a propagação de suas fissuras apresenta padrões bem definidos conforme os tipos de esforços predominantes. Em regiões de momento fletor máximo, geralmente na parte central dos vãos, surgem fissuras tipicamente verticais na face inferior da viga (zona tracionada) (NEVILLE, 1997). Contudo, segundo Thomaz (1986), essa configuração se altera nas regiões próximas aos apoios. Nestas zonas, a presença de esforços cortantes gera fissuras inclinadas, com ângulos aproximados de 45° em relação à horizontal. A manifestação das fissuras, quanto à sua localização, número, extensão e abertura, está associada a uma série de fatores estruturais e materiais. Dentre eles, Thomaz (1986) destaca a características geometria da viga, das propriedades físicas e mecânicas dos materiais empregados, e o estágio de solitação da carga a qual a peça está submetida.

As fissuras de flexão (**Figura 10**) constituem uma das manifestações

patológicas mais comuns em vigas de concreto armado, ocorrendo, em geral, nas regiões submetidas a momentos fletores elevados. Tais fissuras se desenvolvem principalmente na zona tracionada da seção transversal da viga, uma vez que o concreto apresenta baixa resistência à tração.

Figura 10 – Fissuras por Flexão



- a) Fissuração por flexão, como consequência da insuficiente seção de aço diante do momento negativo. b) Fissuração por flexão, como consequência da insuficiente seção de aço diante do momento positivo.

Fonte: SOUZA; RIPPER, 1998.

Ademais, Thomaz (1986) nos anuncia que em casos de vigas com armaduras insuficientes para o cisalhamento ou com ancoragens deficientes, é comum o surgimento antecipado de fissuras inclinadas, especialmente nas proximidades dos apoios, antes mesmo que se atinja o carregamento de serviço (**Figura 11**).

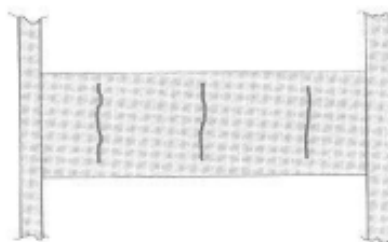
Figura 11 – Fissura por cisalhamento.



Fonte: HELENE, 1992; SOUZA; RIPPER, 1998.

Outrossim, segundo Souza e Ripper (1998), tem-se a fissuração por retração hidráulica (**Figura 12**), em que esta ocorre ainda antes da pega do concreto, devido a alto teor de evaporação da água que foi utilizada em excesso para a preparação da mistura, e por conseguinte, a massa, na consequência, sofre uma contração irreversível, decorrente da perda de umidade superficial.

Figura 12 – Fissura por retração hidráulica.



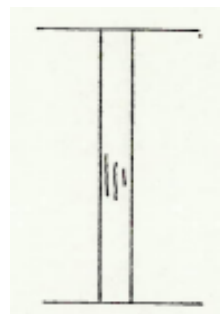
Fonte: HELENE, 1992.

- Fissura em Pilares

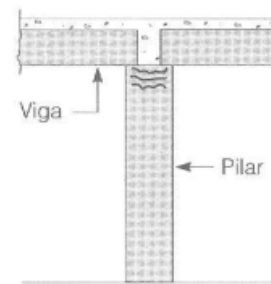
A propagação das fissuras em pilares está diretamente associada aos estados de tensão induzidos pelas solicitações axiais (compressão ou tração) e pelas ações combinadas de flexão e cisalhamento. Em estruturas de concreto armado, os pilares geralmente estão submetidos a esforços de compressão, o que deixa implícito, em um primeiro momento, a manifestação das fissuras. No entanto, a presença de momentos fletores e excentricidades das cargas aplicadas, promove o surgimento de tensões de tração em regiões específicas, favorecendo a fissuração longitudinal e transversal (NEVILLE, 2016).

Dessa forma, as manifestações típicas de fissuras nos pilares, são ilustradas na **Figura 13**.

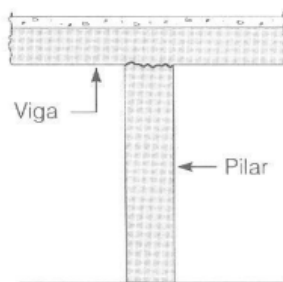
Figura 13 – Manifestações típicas de fissuras em pilares.



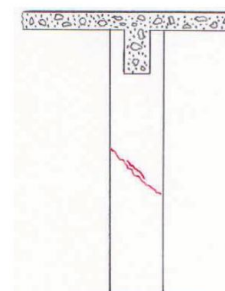
a) Fissuras indicando insuficiência de estribos. Dada por subdimensionamento de estribos (THOMAZ, 1986).



b) Fissura por assentamento plástico. Dada por mau adensamento do concreto (HELENE, 1992).



c) Fissura de junta de concretagem. Dado em caso que topo do pilar está com excesso de nata de cimento ou sujeira (HELENE, 1992).



d) Fissura por recalque da fundação. Gerado também, por sobrecarga não previstas ou concreto com resistência insuficiente (OLIVARI, 2003).

Fonte: HELENE, 1992; THOMAZ, 1986; OLIVARI, 2003.

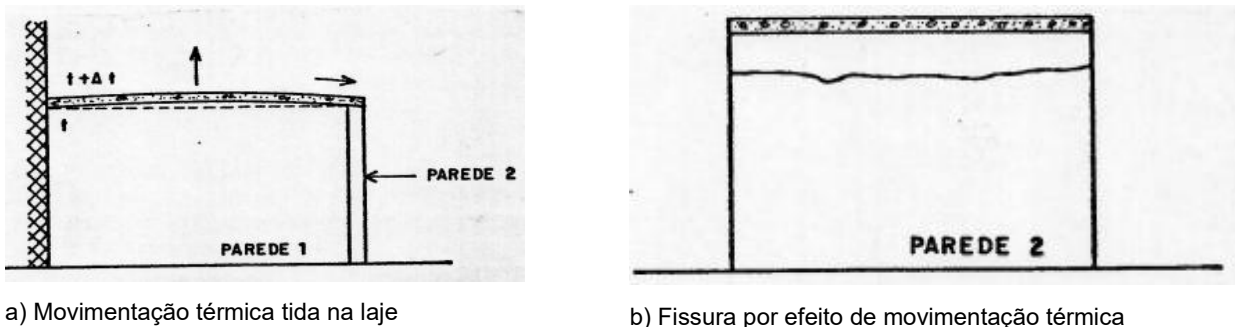
- Fissura em Paredes

As fissuras em paredes, embora geralmente associadas a elementos não estruturais, merecem cuidado especial, pois essas podem indicar movimentos significativos da edificação, falhas de execução ou ausência de juntas técnicas. As manifestações variam conforme o tipo de parede (seja ela de vedação ou estrutural)

e o estágio da obra (fase construtiva ou uso).

Em paredes de vedação, na qual não possuem função estrutural, as fissuras ocorrem principalmente por interações indevidas com os elementos estruturais, como vigas e pilares. Um dos mecanismos frequentes é a fissuração por movimentações diferenciais entre a estrutura e alvenaria (dada pela diferença dos coeficientes de dilatação térmica), devido à ausência de juntas (SOUZA; RIPPER, 1998; THOMAZ, 1986). Ademais, segundo Thomaz (1986), a dilatação plana das lajes e o abaulamento provado pelo gradiente de temperatura, irão introduzir tensões de tração e de cisalhamento nas paredes, que por sua vez produzirão fissuras em toda sua extensão (Figura 14).

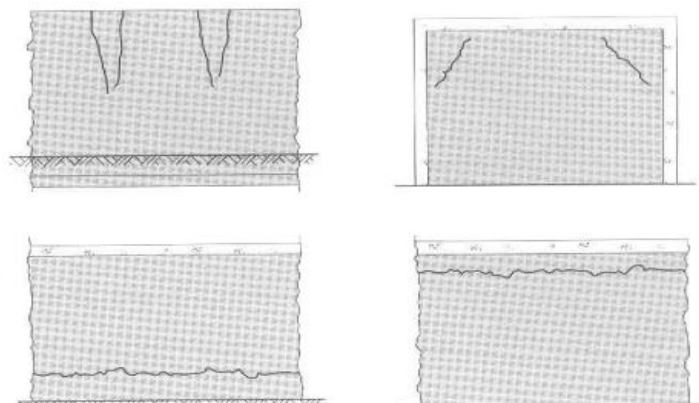
Figura 14 – Processo de fissuração térmica em parede.



Fonte: THOMAZ, 1986.

Outrossim, é a fissuração por retração higroscópica ou por variações térmicas (Figura 15), especialmente em paredes extensas sem juntas de movimentação. Neste caso, ocorreram fissuras verticais ou diagonais com espaçamento regular, que podem atravessar juntas de argamassa, afetando diretamente o desempenho de vedação da alvenaria (NEVILLE, 1997).

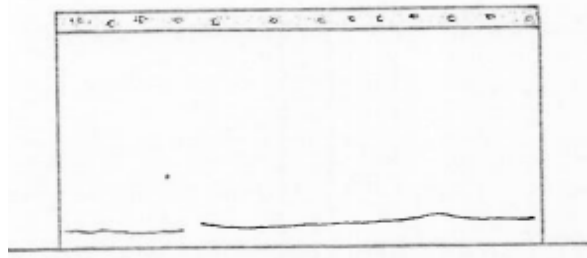
Figura 15 – Fissuras típica por retração higroscópica.



Fonte: HELENE, 1992.

Ainda diante da perspectiva do efeito da umidade, destaca Thomaz (1986) que, em locais onde foram mal executadas a impermeabilização dos alicerces, surgiram fissuras horizontais à base da parede (**Figura 16**), devido a diferença de umidade na fiada superior, que estão mais sujeitas a insolação e maior evaporação da água, gerando assim, movimentações diferenciadas. Sendo também tais fissuras acompanhadas por eflorescência.

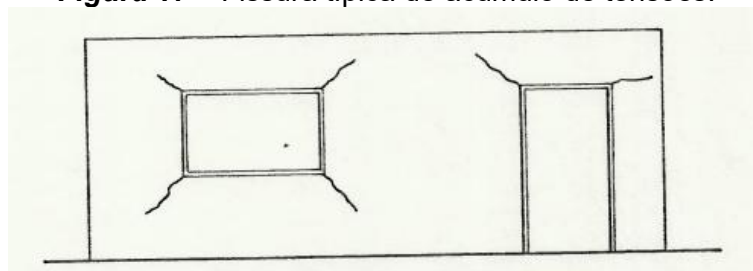
Figura 16 – Fissura por efeito de umidade do solo.



Fonte: THOMAZ, 1986.

Ainda segundo Thomaz (1989), em situações nas quais a edificação é submetida a sobrecargas, como o peso próprio, variações térmicas ou ação dos ventos, o alívio das tensões tende a ocorrer preferencialmente nas alvenarias, por se tratarem de elementos menos resistentes em comparação com os demais componentes estruturais. Contudo, a presença de aberturas nesses elementos, como de portas e janelas, gera descontinuidade que resultam na concentração de esforços, especialmente nas regiões de quinas. Essa concentração provoca, como mecanismo natural de alívio, o aparecimento de fissuras nas esquadrias (**Figura 17**). Tais fissuras geralmente se manifestam inclinadas, formando ângulos próximos a 45° com a horizontal, e de forma vertical no centro das aberturas, evidenciando a redistribuição dos esforços nessas regiões críticas (THOMAZ, 1989). Sendo tal efeito também causado pela má execução ou inexistência de vergas e contravergas.

Figura 17 – Fissura típica de acúmulo de tensões.



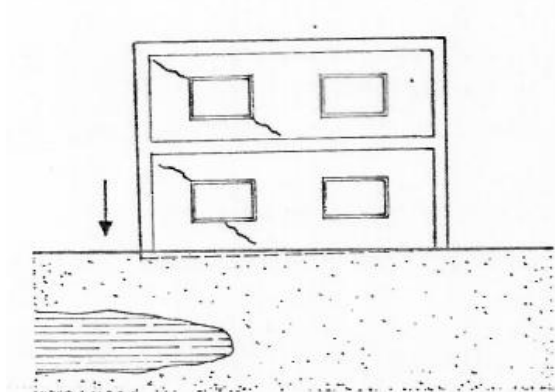
Fonte: THOMAZ, 1986.

Similarmente, as fundações estão sujeitas a deslocamentos verticais

decorrentes da movimentação natural do solo, essenciais para o equilíbrio entre a capacidade de suporte do terreno e as cargas atuantes na edificação. Quando essas movimentações não são devidamente consideradas em projeto, podem surgir recalques diferenciais, que frequentemente resultam em fissuras na superestrutura (SOUZA; RIPPER, 1998).

Se os esforços solicitantes excedem a resistência da estrutura, ocorre sua redistribuição, primeiramente pelos pilares ligados às fundações e, em seguida, para as vigas. Devido à menor resistência da alvenaria, é nessa região que as fissuras tendem a se manifestar, como pode ser observado na **Figura 18**, geralmente em forma diagonal, orientadas em direção à fundação que permaneceu estável, padrão típico associado a recalques desiguais (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 18 – Fissura por recalque diferencial de fundação.



Fonte: THOMAZ, 1986.

3.1.5 Eflorescência

A eflorescência é um fenômeno patológico superficial que ocorre frequentemente em revestimentos cerâmicos, concretos e alvenarias, manifestando-se visualmente como depósitos esbranquiçados que surgem na superfície dos materiais. Tais depósitos são constituídos por sais solúveis que migram, por meio da água, do interior da estrutura para a face externa, onde irão cristalizar após a evaporação da umidade. A sua ocorrência não compromete necessariamente a segurança estrutural, mas será um indicativo da presença de umidade em níveis indesejáveis, que poderão afetar o desempenho, a estética e a durabilidade dos elementos construtivos.

Segundo Granato (2021), a eflorescência (**Figura 19**) pode ser classificada por meio de duas condições: a primária, quando ocorre logo após a execução da obra,

normalmente dada pelo excesso de água na argamassa ou no concreto; e a secundária, que se manifesta a longo prazo, frequentemente em decorrência da penetração de água da chuva, falhas de impermeabilização ou presença de umidade ascendente por capilaridade. A distinção entre esses tipos se torna fundamental para orientar o diagnóstico e a escolha da técnica de recuperação adequada.

Para o controle e prevenção, atribui-se o uso de materiais com baixos teores de sais solúveis, a correta impermeabilização da infraestrutura e coberturas, além do adequado uso de elementos como rufos, pingadeiras, entre outros. No tocante ao tratamento, a simples remoção mecânica ou com escovas de cerdas macias pode ser eficaz em casos leves. Já em manifestações mais intensas, pode-se adotar soluções químicas específicas ou mesmo intervenções na origem da umidade, como troca de argamassa ou implantação de barreiras químicas hidrofóbicas (GRANATO, 2021).

Figura 19 – Manifestação de eflorescência em edificação.



Fonte: BRASIL ESCOLA, 2023.

3.1.6 Bolor

O bolor (**Figura 20**) representa uma das manifestações patológicas mais recorrentes em edificações, configurando-se como uma forma de biodeterioração provocada por microorganismos fúngicos, especialmente fungos filamentosos. Seu desenvolvimento é geralmente identificado por manchas escuras ou esverdeadas nas superfícies internas, geralmente em áreas com ventilação deficiente, elevado teor de umidade e ausência de adequado processo de impermeabilização. Tais fungos se desenvolvem em substratos porosos (em rebocos, tintas, entre outros) sobretudo quando há aporte constante de umidade por condensação, infiltrações ou vazamentos. (CANEVA et. al, 2000).

A colonização fúngica ocorre por meio do micélio, estrutura composta por filamentos denominados hifas, que penetram a superfície dos materiais à

profundidades de até aproximadamente 10 mm. Este processo compromete a integridade superficial do substrato, gerando a desagregação de partículas e, com o tempo, prejudicando o desempenho funcional e estético do elemento construtivo (CANEVA et al 2000).

Outrossim, é importante destacar que o bolor não deve ser tratado apenas como um problema estético. Uma vez que, sua permanência nas edificações, especialmente em ambientes fechados e com alta taxa de ocupação, pode representar sérios riscos à saúde dos usuários. A literatura aponta que a exposição prolongada aos esporos liberados pelos fungos pode desencadear reações alérgicas, irritações nas vias respiratórias e agravamento de doenças pulmonares preexistentes, como a asma. (SOUZA; MATOSKI, 2016).

Figura 20 – Manifestação de bolor em parede.



Fonte: DANTAS et. al, 2024.

3.1.7 Método de aplicação da matriz GUT

A matriz GUT (que representa Gravidade, Urgência e Tendência) é uma ferramenta qualitativa de apoio à priorização de problemas utilizada em processos de tomada de decisão em gestão da qualidade, manutenção predial, planejamento estratégico, dentre outros. O método visa a organização e classificação das situações críticas de uma edificação, processo ou sistema, atribuindo pesos para os três critérios distintos que, combinados, oferecem uma hierarquização eficiente dos itens a serem tratados. A robustez de sua aplicabilidade reside justamente na capacidade de converter análises subjetivas em dados comparativos, de modo que proporcione um resultado mais prático do processo decisório (VERZOLA et. al, 2014).

O critério Gravidade, analisa o impacto potencial que o problema pode causar caso não seja tratado, considerando aspectos como: segurança estrutural, danos à

edificação e riscos à saúde dos usuários. Quanto à Urgência, relaciona-se ao tempo disponível para agir antes que a situação se agrave, enquanto a Tendência avalia a capacidade de crescimento ou disseminação do problema ao longo do tempo, caso nenhuma ação seja implementada. Cada um desses fatores receberá uma pontuação conforme definido em Verzola et. al (2014), e da mesma forma para a montagem de check list. A multiplicação desses três valores (GxUxT) resulta em um índice GUT final, cuja magnitude determina a prioridade de intervenção (MAXIMIANO, 2010).

Assim, por meio do embasamento do trabalho dos autores anunciada, foi necessário classificar todas as manifestações patológicas que existem na edificação, criar um check list e preenchê-lo atribuindo valores numéricos (pesos) correspondentes a Gravidade, Urgência e Tendência de cada dano. Ao classificar a Gravidade (analogamente a Urgência e Tendência) teve-se que considerar os possíveis riscos e prejuízos aos usuários e ao patrimônio, em que ao ser definido um problema como crítico foi inserida nos graus: Total e Alta; se o problema for considerado regular foi obtido grau: Média; e a definição do problema sendo considerado como mínimo, foi dado grau: Baixa e Nenhuma, como ilustra a **Tabela 2, 3 e 4.**

Tabela 2 – Classificação matriz GUT para Gravidade.

	GRAU	DEFINIÇÃO DO GRAU	NOTA
GRAVIDADE Relacionada a possíveis riscos ou prejuízo aos usuários	TOTAL	Risco de morte; Impacto irreversível com perda excessiva do desempenho e funcionalidade; Prejuízo financeiro muito alto	10
	ALTA	Risco de ferimentos aos usuários, danos reversíveis ao meio ambiente ou ao edifício; Impacto recuperável com o comprometimento parcial do desempenho e funcionalidade do sistema; Prejuízo financeiro alto	8
	MÉDIA	Risco à saúde dos usuários, desconfortos na utilização dos sistemas, deterioração passível de restauração/reparo; Danos ao meio ambiente passíveis de reparo; Prejuízo financeiro médio	6
	BAIXA	Sem risco à integridade física dos usuários, sem risco ao meio ambiente, pequenos incômodos estéticos ou de utilização; Prejuízo financeiro pequeno.	3
	NENHUMA	Nenhum risco à saúde, à integridade física dos usuários, ao meio ambiente ou ao edifício; Mínima depreciação do patrimônio	1

Fonte: Adaptado Verzola et al, 2014.

Tabela 3 – Classificação matriz GUT para Urgência.

	GRAU	DEFINIÇÃO DO GRAU	NOTA
URGÊNCIA Prazo para intervenção	TOTAL	Acontecimento imediato, necessidade de interdição do imóvel sem prazos extras	10
	ALTA	Acontecimento na iminência de acontecer, urgente intervenção	8
	MÉDIA	Adversidade prevista para breve, necessidade de intervir rapidamente	6
	BAIXA	Inicialização de um incidente, intervenção ainda em forma de planos	3
	NENHUMA	Adversidade imprevista, mas necessário acompanhamento para futuras manutenções	1

Fonte: Adaptado Verzola et al, 2014.

Tabela 4 – Classificação matriz GUT para Tendência.

	GRAU	DEFINIÇÃO DO GRAU	NOTA
TENDÊNCIA Rumo	TOTAL	Progresso da manifestação imediato, podendo haver piores a qualquer instante.	10
	ALTA	Evolução da situação prestes a ocorrer, a curto prazo	8
	MÉDIA	Evolução a médio prazo.	6
	BAIXA	Possível evolução a longo prazo. Poderá vir a ocorrer. Situação de demora	3
	NENHUMA	Situação estabilizada.	1

Fonte: Adaptado Verzola et al, 2014.

3.2 Ensaios Não Destrutivos

Os ensaios não destrutivos (END) constituem um conjunto de técnicas que permitem avaliar a integridade, a homogeneidade e o desempenho de elementos e sistemas das edificações sem causar danos, sendo fundamentais para a inspeção, o diagnóstico e o acompanhamento da durabilidade ao longo do ciclo de vida (SOUZA; RIPPER, 1998; HELENE, 1992). Entre os métodos mais difundidos no país, destacam-se a análise visual, a esclerometria (esclerômetro de reflexão), o ultrassom por velocidade de pulso, a pacometria (localização de armaduras e medição do cobrimento), além de termografia infravermelha e georradar, entre outros (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Para os fins deste trabalho, serão adotados e detalhados na

sequência quatro métodos: (i) pacometria; (ii) esclerometria; (iii) ultrassom; e (iv) análise visual.

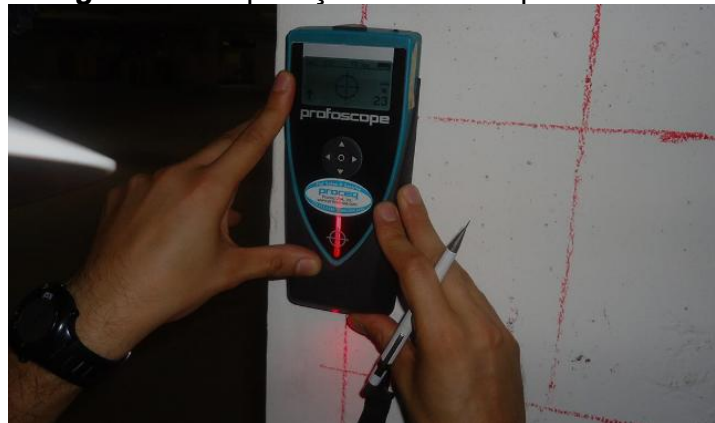
3.2.1 *Ensaio de Pacometria*

O ensaio de pacometria, inserido no contexto dos ENDs, constitui uma das ferramentas existentes, essencial para a inspeção e o diagnóstico de estruturas de concreto armado, especialmente no que se refere à localização e medição do cobrimento das armaduras. O equipamento terá um funcionamento baseado por meio de um campo magnético gerado na superfície do concreto (HELENE; TERZIAN, 1993). Quando este campo interage com o aço das armaduras, há uma alteração na impedância magnética registrada por sensores, que é convertida em dados sobre profundidade e posicionamento.

De acordo com estabelecido na NBR 6118 (ABNT, 2023), o cobrimento mínimo das armaduras é um fator de segurança vital à durabilidade e à proteção contra corrosão. A norma define espessuras mínimas de cobrimento com base nas classes de agressividade ambiental e nas condições de exposição da estrutura. O descumprimento desses parâmetros será um fator que compromete severamente a vida útil da edificação. Nesse sentido, o ensaio de pacometria (**Figura 21**) desempenha papel determinante para verificar a conformidade entre o que foi projetado e o executado, permitindo diagnósticos seguros quanto à qualidade da construção e à necessidade de intervenções.

Contudo, a pacometria possui limitações inerentes à profundidade máxima de leitura e à acurácia em regiões contendo alta densidade de armaduras, como em pilares. Nestes casos, recomenda-se que os resultados sejam interpretados com critério técnico e, se necessário, feita a complementação por outros ensaios, como ultrassom ou radiografia de concreto (METHA; MONTEIRO, 2014).

Figura 21 – Aplicação ensaio de pacometria.



Fonte: Carmona Engenharia, 2025.

3.2.2 Ensaio de Esclerometria

Nos processos de diagnóstico de estruturas de concreto, sobretudo quando se busca evitar intervenções invasivas, o ensaio de esclerometria (**Figura 22**) surge como uma solução técnica viável, prática e amplamente difundida. Trata-se de um END que avalia a homogeneidade da concretagem por meio da medição do índice de rebote de um êmbolo metálico lançado contra a superfície do material. A intensidade do rebote, ou índice esclerométrico registrada em escala numérica no esclerômetro, pode ser utilizada indiretamente para aferir a resistência à compressão do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Em termos normativos, a NBR 7584 (ABNT, 2012) define os critérios técnicos para a execução e interpretação dos resultados da esclerometria no Brasil, orientando, por exemplo, sobre a necessidade de descartar valores atípicos (dados com um limite de $\pm 10\%$ em relação à média aritmética normal) e garantir que a superfície esteja limpa e sem imperfeições. A norma também reforça que os resultados devem ser analisados com base em uma quantidade significativa de medições, distribuídas adequadamente pela área analisada. Tal área, será uniformemente destruída conforme o gabarito reticulado (**Figura 23**) apresentado pela mesma norma. Isso garante maior confiabilidade estatística ao ensaio, respeitando os princípios da engenharia diagnóstica

Destaca Neville (2011), que o ensaio de esclerometria devido à sua facilidade de aplicação, baixo custo operacional e rapidez na obtenção dos dados, o torna uma ferramenta indispensável para avaliações preliminares de integridade estrutural, seja em obras recém-construídas ou em edificações antigas. Porém, ressalta a importância de destacar que tal tipo de ensaio fornece uma estimativa empírica da resistência do

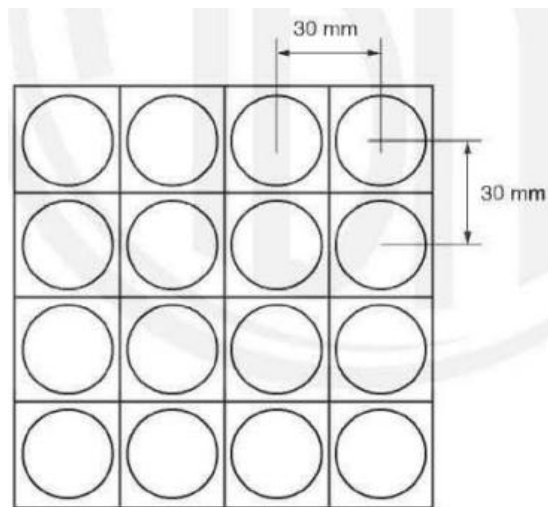
concreto, sujeita a variações devidas a fatores como umidade da superfície, idade do concreto, presença de carbonatação, entre outros, sendo assim útil mas com suas limitações.

Figura 22 – Aplicação ensaio de Esclerometria.



Fonte: Tecnocon Engenharia, 2014.

Figura 23 – Gabarito reticulado para distribuição uniforme da área de ensaio.



16 impactos

Fonte: ABNT NBR 8802, 2013.

3.2.3 Ensaio de Ultrassom

O ensaio de ultrassom, configura-se como uma das técnicas não destrutivas mais consolidadas no diagnóstico de estruturas de concreto. Trata-se de um método que se baseia na emissão de ondas mecânicas de alta frequência através do material, com o objetivo de medir o tempo de propagação entre um emissor e um receptor posicionados em pontos distintos da superfície da estrutura. A velocidade com que tais ondas atravessam o concreto fornece informações valiosas sobre a

homogeneidade, integridade e eventual presença de descontinuidades internas, como fissuras, vazios ou segregações (MINDESS et. al, 2003). E para tal dimensionamento/cálculo da velocidade da onda em m/s, considera-se a Equação 1, descrita pela NBR 8802 (ABNT, 2013), apresentadas a seguir.

$$V = \frac{L}{\Delta t} \quad (1)$$

Onde V - Velocidade da onda (m/s); L - Distância entre os tradutores (m); e, Δt - Variação do tempo para a distância percorrida (s).

O ultrassom (**Figura 24**) é amplamente utilizado tanto em estruturas novas, como forma de avaliação da qualidade, quanto em edificações existentes, sobretudo em processos de inspeção predial, reabilitação ou verificação de desempenho pós-sinistro. Sua capacidade de detectar anomalias internas sem a necessidade de intervenções destrutivas torna-o uma alternativa estratégica para preservar a integridade da estrutura durante as avaliações (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Figura 24 – Instrumento de Medidor de Pulso Ultrassônico (UPV) com seus transdutores, emissor (esquerda) e receptor (direita).



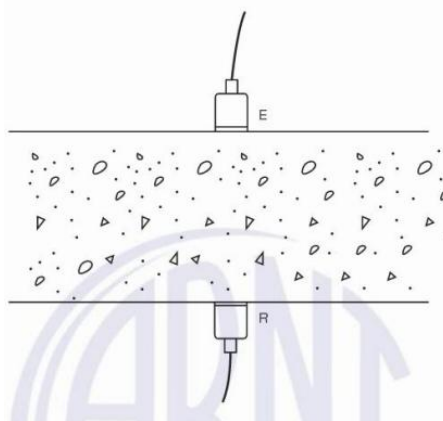
Fonte: AUTOR, 2025.

A NBR 8802 (ABNT, 2013) normatiza a aplicação desse ensaio no Brasil, estabelecendo critérios técnicos quanto ao posicionamento dos transdutores, tipo de acoplamento, correção por temperatura e umidade, além da interpretação dos resultados. Importante ressaltar que, embora o ensaio forneça informações qualitativas e comparativas, ele não determina diretamente a resistência à

compressão do concreto, mas sim a sua qualidade física interna, sendo, por isso, um recurso essencial no campo da engenharia diagnóstica. Com relação a realização do ensaio, segundo a norma terá três formas de transmissão/aplicação: a direta, indireta e a semidireta.

A transmissão direta, ilustrada na **Figura 25** é a forma principal para se optar, uma vez que, os transdutores se posicionam em faces opostas entre si, fazendo com que a onda seja recebida com maior intensidade.

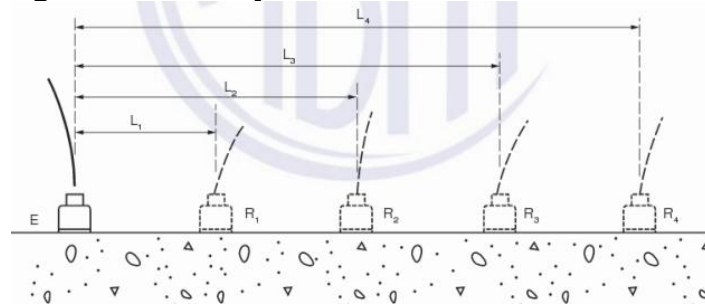
Figura 25 – Medição direta de ensaio ultrassom.



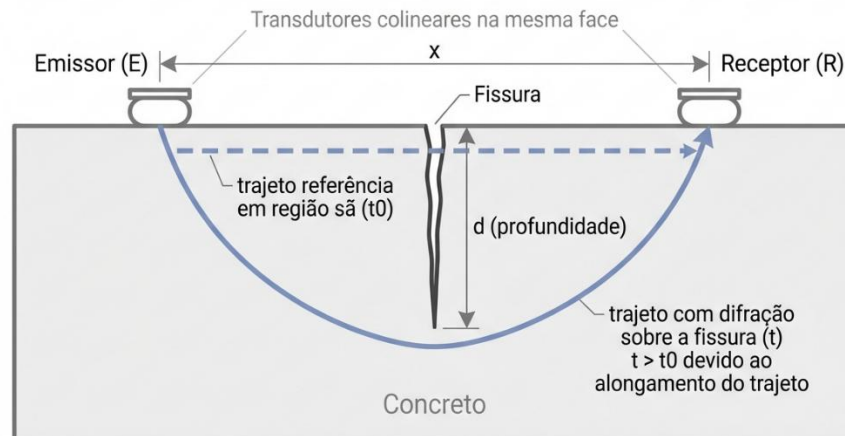
Fonte: ABNT NBR 8802, 2013.

Já a indireta é utilizada em casos quando não possui acesso às outras faces da estrutura (e.g. em lajes). Nesta configuração os transdutores serão posicionados na mesma superfície com espaçamentos determinados (**Figura 26**), fazendo assim, com que as ondas ultrassônicas emitida viagem entre o emissor e receptor (posicionado em diferentes distâncias) de forma parabólica.

No arranjo indireto (superficial), emissor e receptor são posicionados na mesma face do elemento, em lados opostos da fissura. Nessa configuração, o pulso ultrassônico não “cruza” a abertura, ele difrata na ponta da fissura e percorre um trajeto mais longo, o que se traduz em maior tempo de trânsito quando comparado ao de uma região íntegra com o mesmo afastamento entre transdutores, ilustrado pela **Figura 27** (ABNT, 2013; MALHOTRA; CARINO, 2004). A estimativa da profundidade decorre, portanto, da comparação entre o tempo medido sobre a fissura e um tempo de referência obtido em zona sã ou, alternativamente, de medições realizadas com dois afastamentos superficiais distintos sobre a mesma descontinuidade (MALHOTRA; CARINO, 2004).

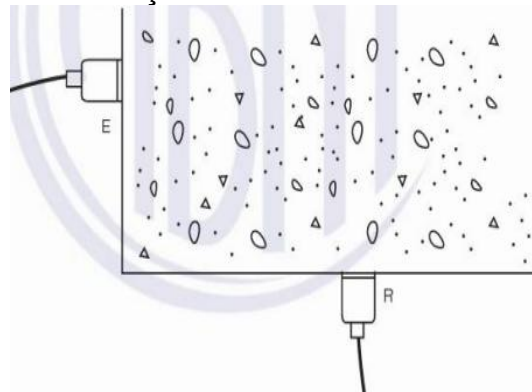
Figura 26 – Medição indireta de ensaio ultrassom.

Fonte: ABNT NBR 8802, 2013.

Figura 27 – Transmissão indireta de ondas no ensaio de ultrassom

Fonte: AUTOR (adaptado NanoBanana IA), 2025.

E quanto a transmissão semidireta (**Figura 28**), é satisfatório principalmente para evitar concentrações de armaduras, porém, é necessário que a distância entre os transdutores não seja tão grande, de modo que não comprometa a transmissão do sinal, sendo os transdutores postos em superfícies adjacentes.

Figura 28 – Medição semidireta de ensaio ultrassom.

Fonte: ABNT NBR 8802, 2013.

3.2.4 Análise Visual

A análise visual é caracterizada por ser o procedimento inicial, e muitas vezes o mais recorrente, nas investigações de manifestações patológicas em estruturas de

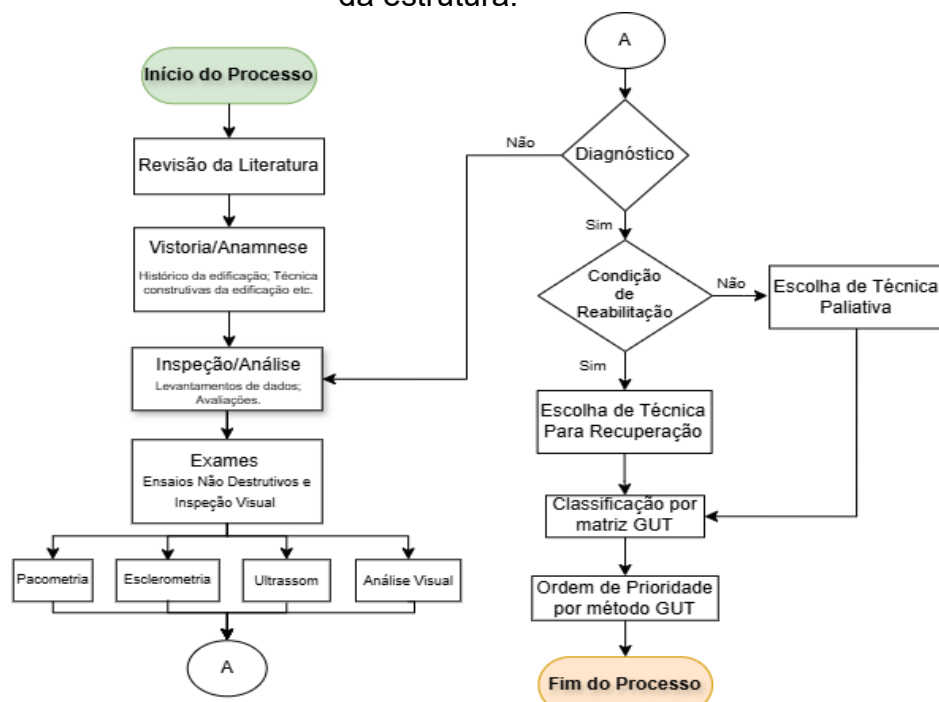
concreto. Apesar da técnica ser mais prática e da não utilização de equipamentos sofisticados, trata-se de um método de elevada importância diagnóstica. Seu principal objetivo é identificar indícios visíveis de anomalias, tais como fissuras, manchas, desagregações, eflorescências, entre outras, que possam sugerir perdas de desempenho estrutural, funcional ou estético da edificação.

Em tal análise visual busca-se uma observação minuciosa e documentada, com registro fotográfico, croquis de localização, permitindo que as observações sejam reavaliadas em momentos posteriores ou comparadas em análises evolutivas.

4 MÉTODO E MATERIAIS

O método adotado nesta pesquisa teve como propósito desenvolver um diagnóstico aprofundado das manifestações patológicas observadas em uma Escola Municipal de Ensino Fundamental (EMEF). Inicialmente, foi realizada uma revisão de literatura com foco nos trabalhos mais relevantes para a fundamentação teórica do estudo. Em seguida, aplicou-se o estudo de caso na EMEF Ponte da Amizade, considerando-se o histórico da edificação, a concepção do projeto arquitetônico e a técnica construtiva empregada, que a partir dessas informações proporcionou a anamnese (vistoria). Na sequência, se efetuou-se o levantamento de dados e a avaliação das patologias construtivas, o que possibilitou a análise (inspeção) criteriosa do estado atual da edificação. Por fim, foram aplicados ENDs (ultrassom, pacometria, entre outros), com o objetivo de verificar as condições da estrutura e consolidar um diagnóstico técnico detalhado, gerando embasamento suficiente de qual medida de recuperação se faz necessária na estrutura. Com isso foi possível realizar a classificação da ordem de prioridade destas recuperações por meio da matriz GUT (Gravidade, Urgência, Tendência). Na **Figura 29**, apresenta-se o fluxograma que sintetiza os processos metodológicos aplicados, os quais são detalhados nos itens a seguir.

Figura 29 – Fluxograma da metodologia aplicada no processo de avaliação da estrutura.



Fonte: AUTOR, 2025.

4.1 Objeto de Estudo

O objeto de estudo desta pesquisa é um edifício escolar de ensino fundamental, denominado como EMEF Ponte da Amizade, situada na cidade de Foz do Iguaçu-PR, na avenida Tancredo Neves, 3159 - Jardim Jupira, em frente ao Mercado Público Barrageiros (**Figura 30, 31, 32**). Seu esqueleto estrutural é composto por estrutura em concreto armado, contendo pavimento térreo, superior e áreas de recreação escolar (quadra, parquinho)

Figura 30 – Integração da localização de objeto de estudo.



Fonte: AUTOR, 2025

Figura 31 – Localização do objeto de estudo em Foz do Iguaçu.



a) Implantação da Escola

b) Localização da EMEF Ponte da Amizade

Fonte: GOOGLE MAPS, 2025.

Figura 32 – Vista Frontal da EMEF Ponte da Amizade.



Fonte: GOOGLE MAPS, 2025.

4.2 Vistoria preliminar

Diante desta etapa de grande relevância ao que tange a concepção de um diagnóstico, desenvolveu-se o estudo do projeto da edificação e suas partes, compreendendo a concepção e aos critérios aplicados no projeto, seu histórico para identificar o processo de evolução das anomalias construtivas ou falhas de manutenção, desde sua origem até ao ponto presente do estudo. Em conjuntos, foram desenvolvidas entrevistas com os usuários, a fim condicionar um entendimento mais amplo das condições. Segundo o Instituto de Engenharia (2014), a vistoria é aplicada inicialmente em qualquer investigação com a constatação técnica do objeto sendo realizado *“in loco”*, auxiliando nas etapas subsequentes. Assim, a vistoria foi conduzida de forma detalhada e planejada, com o propósito de identificar as condições reais da estrutura, analisar as anomalias presentes, suas causas e definir as ações e métodos necessários para a recuperação ou reforço (SOUZA; RIPPER, 2009).

4.3 Inspeção

Conforme o Instituto de Engenharia (2014), a inspeção diagnóstica visa à análise de anomalias, falhas de manutenção e aspectos relacionados à saúde e segurança das edificações, com o objetivo de subsidiar tecnicamente a definição de soluções corretivas. Tendo finalizada a etapa de vistoria, procedeu-se ao levantamento de dados por meio de inspeções visuais, com foco na identificação das manifestações patológicas no objeto de estudo. Essas ocorrências foram registradas

por meio de croquis técnicos e documentação fotográfica, a fim de sistematizar as observações de campo.

Em sequência, realizou-se uma avaliação aprofundada dos sintomas patológicos observados, como presença de agentes agressores, processos de carbonatação e medidas de fissuras e trincas. Essa análise permitiu compreender a origem dos danos e direcionar propostas de intervenção adequadas. Para aprofundar o diagnóstico e minimizar impactos à estrutura, optou-se pela aplicação de ENDs, garantindo maior precisão na caracterização das patologias e maior eficiência no processo de reabilitação da edificação.

4.3 Exames (Pacometria, Esclerometria, Ultrassom)

Com base nas manifestações patológicas identificadas na etapa de vistoria e na inspeção, aplicou-se a execução de ENDs, para possibilitar um aprofundamento do diagnóstico. Tais procedimentos foram fundamentais para investigar, de forma técnica e objetiva, a extensão e a gravidade dos danos estruturais, sem comprometer a integridade da edificação durante o processo investigativo. Uma vez que, a partir da aplicação do pacômetro, foi possível localizar as armaduras existentes, após, com o esclerômetro, reconhecer a dureza superficial do presente concreto e a homogeneidade relativa, e por fim, pela utilização do ultrassom, o entendimento das condições internas das manifestações estudadas, compreendendo suas descontinuidades. Tendo assim, alegoricamente, a largura, a altura e a profundidade do estudo de caso.

A aplicação dos ENDs possibilitou, sobretudo, validar hipóteses formuladas anteriormente, permitindo a identificação de fenômenos como profundidade de fissuras, grau de carbonatação, perda de seção em armaduras, entre outros fatores críticos que não foram perceptíveis por inspeção visual simples. A escolha e aplicação desses exames permitirá a obtenção de dados quantitativos e qualitativos que complementam o levantamento visual, assegurando um diagnóstico mais preciso e embasado.

Vale ressaltar que, a utilização de tais equipamentos para os respectivos ensaios descritos deu-se, majoritariamente, pela condição de equipamentos proporcionados pela instituição de ensino para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso.

4.4 Diagnóstico

A partir das etapas anteriores foi possível obter as conclusões de cada caso mediante às análises, e por meio da relação custo-benefício proporcionar a viabilidade da recuperação e/ou medida a ser executada.

Segundo Helene (1992), um diagnóstico técnico eficiente deve incluir considerações acerca dos efeitos das manifestações patológicas no comportamento global da estrutura. Em termos metodológicos, essas consequências costumam ser classificadas em dois grupos principais: aquelas que comprometem a segurança estrutural, representando riscos à estabilidade e integridade física da edificação; e aquelas que afetam as condições de serviço e funcionalidade, interferindo no desempenho e uso adequado da construção. Essa distinção é essencial para orientar as intervenções com base na gravidade e nas implicações de uso da construção.

4.5 Reabilitação e Aplicação da Matriz GUT

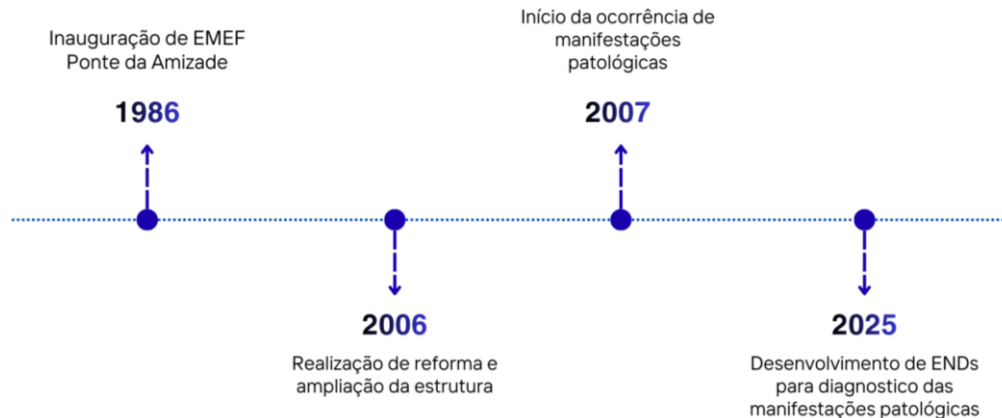
Por fim, com os resultados dos ensaios e inspeção visual e as informações obtidas na Anamnese, realizou-se a classificação das intervenções a serem adotadas para reabilitação das manifestações patológicas, assim como, a categorização, por meio da matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), do nível de criticidade da situação encontrada em tais manifestação. O desenvolvimento do método GUT abordado, foi adaptado por em Verzola et al (2014), no qual se fez a listagem das manifestações patológicas analisadas, e a criação de *check list*, preenchendo-o e atribuindo valores numéricos (pesos) correspondentes a Gravidade, Urgência e Tendência de cada dano.

5 RESULTADOS

No presente capítulo é abordado a sistematização e apresentação dos dados coletados das manifestações patológicas da edificação EMEF Ponte da Amizade, com suas origens e causas. Cabe ressaltar que, neste momento, o foco foi relatar as principais manifestações patológicas estruturais, uma vez que, possui outros tipos encontrados em toda a edificação. Assim, a partir desta especificidade, a explicação da manifestação patológica é feita, bem como a identificação da forma de recuperação e/ou mitigação, propondo por fim uma classificação por meio da matriz GUT da criticidade de tais manifestações, a fim de promover um plano de manutenção eficiente e pontual.

5.1 Vistoria e Inspeção do caso

Inicialmente, para o levantamento de dados e compreensão da concepção da obra e suas partes, prosseguiu-se por uma etapa de caráter anamnésico, por meio de entrevista e diálogos com funcionários da edificação, obtendo informações acerca dos desafios tidos, a percepção sobre o surgimento e evolução das manifestações patológicas observadas. De tal forma que se concluiu que a maioria das manifestações se iniciou aproximadamente um ano após a última grande reforma realizada no ano de 2006, sendo que tal obra foi inaugurada no ano de 1986, conforme ilustrado na **Figura 33**. Na sequência, realizou-se vistorias visuais sistemática dos ambientes da escola, contemplando as áreas externas, lajes, vigas, pilares e paredes. Para tal, seguiu uma metodologia sequencial e ordenada, registrando cada ocorrência por meio de registros fotográficos, e sendo cada manifestação patológica identificada, descrita e localizada de acordo ao elemento construtivo afetado, a fim de possibilitar uma melhor inspeção subsequente.

Figura 33 – Linha do Tempo da EMEF Ponte da Amizade.

Fonte: AUTOR, 2025.

Após tais processos, durante as inspeções, foram observados parâmetros visuais como o padrão das fissuras, indícios de corrosão, desagregações superficiais, infiltrações, entre outros sintomas causadores e/ou indicadores de degradação dos materiais. A partir desta análise, procurou-se não apenas identificar os danos aparentes, mas compreender seus mecanismos de origem e possíveis inter-relações.

Tendo em vista, a integração das entrevistas, vistorias visuais e a inspeção técnica detalhada, permitiu-se ter um panorama mais claro e abrangente da real situação da estrutura, proporcionando assim, direcionamento para quais casos aprofundar as análises e investigações. Desta forma, tal etapa constitui o alicerce empírico para aplicação dos ENDs – pacometria, esclerometria e ultrassom – que, sendo executados na sequência nos possibilitaram a confirmação e quantificação das hipóteses formuladas durante a inspeção.

5.2 Diagnóstico das manifestações patológicas

A seguir se abordam as manifestações patológicas estruturais identificadas e que foram definidas para o estudo e aplicação dos ensaios, para propor uma averiguação e diagnóstico mais aprofundado.

5.2.1 Manifestação patológica em interface de pilar-viga PV 07

A manifestação patológica observada na interface pilar–viga PV 07, localizada junto à entrada do Colégio Ponte da Amizade (**Figura 34-35**), caracteriza-se por uma trinca (abertura com cerca de 1mm) vertical na zona de ligação entre esses elementos

(Figura 36). Considerando que o conjunto contribui para o suporte do hall de entrada, procedeu-se ao diagnóstico da anomalia. Trincas e/ou fissuras nessa região podem decorrer de concentrações de tensões, retrações e variações térmicas com restrição, bem como de detalhes construtivos, hipóteses a serem ponderadas na avaliação (HELENE, 2003; SOUZA; RIPPER, 1998; ABNT, 2023).

Figura 34 – Localização da manifestação patológica

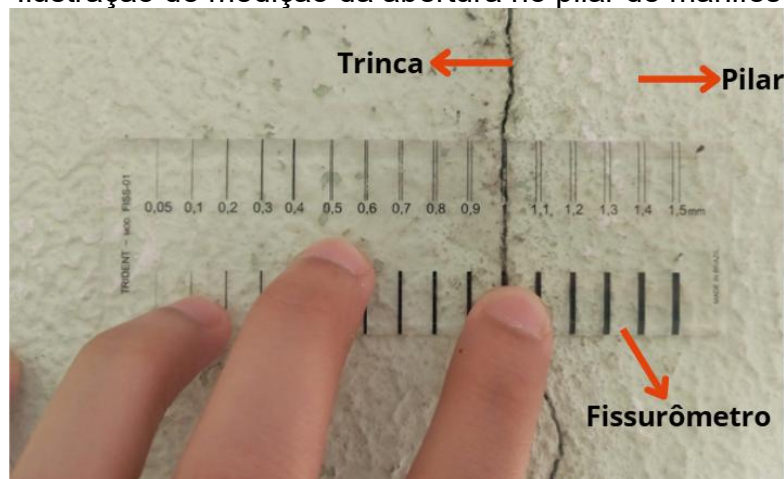


Fonte: AUTOR, 2025.

Figura 35 – Manifestação patológica interface pilar-viga PV 07 e detalhe de trinca



Fonte: AUTOR, 2025.

Figura 36 – Ilustração de medição da abertura no pilar de manifestação PV 07

Fonte: AUTOR, 2025.

A abordagem metodológica iniciou-se por inspeção visual e registro fotográfico, seguida da aplicação de END. Para evitar leituras espúrias no esclerômetro de Schmidt devido a impactos sobre armaduras, que tendem a subestimar o índice esclerométrico, realizou-se previamente o mapeamento das barras de aço no pilar e na viga por meio da pacometria, como exemplificado pela **Figura 37**, etapa recomendável em rotinas de diagnóstico de estruturas de concreto (HELENE, 2003; SOUZA; RIPPER, 1998). Sendo válido elucidar que, afim de garantir uma leitura correta, foi realizando antes da leitura com pacometro, a escarificação do local com a pedra de carborundum (material no conjunto do equipamento de esclerometria), afim de limpar a região e retirar pequenas irregularidades (**Figura 38**). Em sequência, executou-se o ensaio de esclerometria (na direção horizontal), para avaliação indireta da dureza superficial e da uniformidade do concreto, em conformidade com a NBR 7584 (ABNT, 2012).

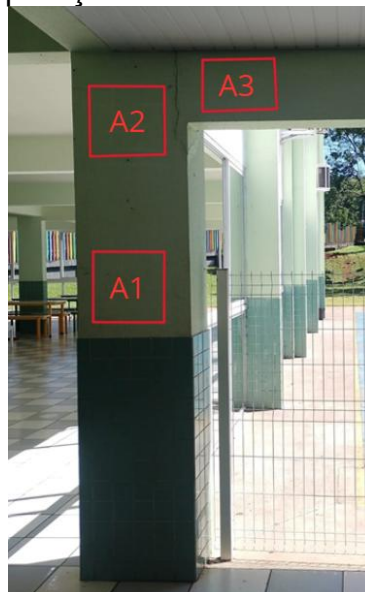
Com base no mapeamento das armaduras, implantou-se um gabarito reticulado com aproximadamente 16 pontos por área de medição, respeitando-se os requisitos de preparo da superfície, afastamentos de bordas e o descarte de leituras aberrantes previstos na NBR 7584 (ABNT, 2012). Para este caso, definiram-se três áreas de ensaio (**Figura 39**), cujos resultados são apresentados na **Tabela 5**.

Figura 37 – Aplicação da pacometria para localização de armadura.

Fonte: AUTOR, 2025.

Figura 38 – Realização da escarificação com pedra carborundum

Fonte: AUTOR, 2025.

Figura 39 – Áreas aplicação de ensaio de esclerometria em PV 07

Fonte: AUTOR, 2025.

Tabela 5 – Quadro resultado de índice esclerométrico para pilar-viga PV 07

Região	A1				A2				A3			
Índice Esclerométrico	23	23	22	24	23	22	22	24	26	26	23	24
	22	25	24	21	22	21	22	23	30	25	22	22
	26	21	21	21	20	25	22	24	25	23	24	26
	22	19	25	24	25	23	22	21	25	32	24	24
Media:	22,69				22,56				25,06			
Média sup.:	24,96				24,82				27,57			
Média inf.:	20,42				20,31				22,56			
Índice Esclerométrico	22,33				22,21				24,21			

Fonte: AUTOR, 2025.

Tabela 6 – Resumo de índice esclerométrico em pilar-laje

Região – Área ensaiada	Índice Esclerométrico
A1	22,33
A2	22,21
A3	24,21

Fonte: AUTOR, 2025.

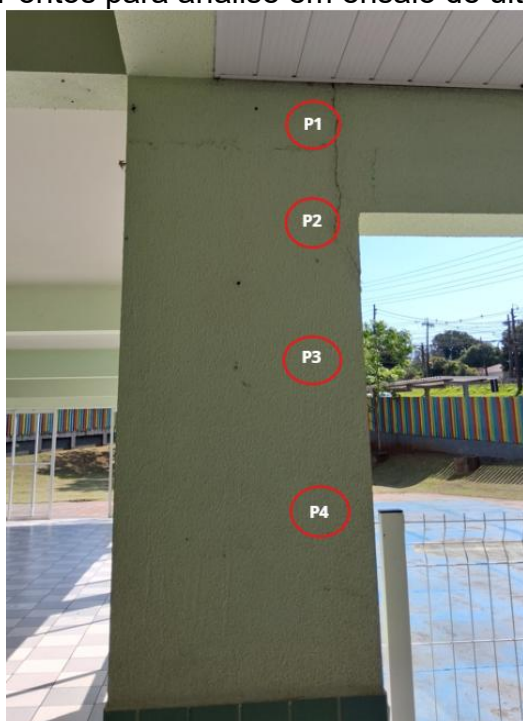
Com base nos resultados do ensaio de esclerometria, e buscando correlacionar a uma análise qualitativa por meio dos distintos índices esclerométrico, observou-se uma diferença discreta entre as áreas A1 e A2 em relação à A3 (**Tabela 6**). Essa variação, contudo, situa-se dentro da variabilidade intrínseca do método quando observadas as condições de ensaio e o tratamento estatístico previstos na NBR 7584 (ABNT, 2012), não configurando, por si só, discrepância relevante para o diagnóstico da estrutura. Fatores como condição superficial do concreto, estado de umidade, carbonatação, orientação de aplicação e proximidade de armaduras podem explicar diferenças pontuais nas leituras (ABNT, 2012; HELENE, 2003; SOUZA; RIPPER,

1998).

Para aumentar a robustez do diagnóstico e reduzir incertezas associadas ao uso de um único método, procedeu-se à avaliação por ultrassom (velocidade de pulso ultrassônico), em conformidade com a NBR 8802 (ABNT, 2013), cujos resultados são apresentados na **Tabela 7**.

Para aplicação do ultrassom, utilizou-se a medição direta dos tradutores, sendo posicionada nos extremos do pilar em análise, este com cerca de 35 cm largura, com a consideração de 4 (quatro) pontos de distinta altura para a análise, ilustrados na **Figura 40**.

Figura 40 – Pontos para análise em ensaio de ultrassom



Fonte: AUTOR, 2025.

A partir da execução do ensaio obteve-se os resultados variação do tempo para a propagação das ondas ultrassônicas no elemento, e na sequência pela Equação 1, o cálculo da velocidade da onda em m/s, apresentadas a seguir.

$$V = \frac{L}{\Delta t} \quad (1)$$

Onde V - Velocidade da onda (m/s); L - Distância entre os tradutores (m); e, Δt - Variação do tempo para a distância percorrida (s).

Tabela 7 – Resultados da aplicação ensaio de ultrassom

Pontos ensaiado	Distância entre transdutores (cm)	Variação da propagação da onda (μs)	Velocidade da Onda (m/s)
P1	35	380	921
P2	35	247	1417
P3	35	206	1699
P4	35	184	1902

Fonte: AUTOR, 2025.

O ensaio ultrassônico por transmissão direta realizado na ligação viga–pilar ($L=35$ cm) evidenciou um gradiente nítido de integridade do material ao longo da altura: P1 = $380 \mu\text{s}$ (921 m/s), P2 = $247 \mu\text{s}$ (1417 m/s), P3 = $206 \mu\text{s}$ (1699 m/s) e P4 = $184 \mu\text{s}$ (1902 m/s). A velocidade foi obtida pela relação fundamental da técnica, em que a velocidade da onda longitudinal é dada pela Equação 1 descrita anteriormente (ABNT, 2013). O aumento do tempo de trânsito e a consequente redução de velocidade junto à fissura (P1) — cerca de 52% menor do que em P4 — diminuem progressivamente com a distância, padrão clássico de zona danificada adjacente a descontinuidade aberta, com microfissuração e dispersão da energia ao longo do caminho (MALHOTRA; CARINO, 2004; MAIERHOFER et.al, 2010).

Em concretos sãos, e também em percursos de ordem comparável, valores típicos de velocidade em transmissão direta situam-se entre aproximadamente 3500 e 4500 m/s. Velocidades substancialmente mais baixas, como as observadas (921 – 1902 m/s), indicam que o pulso não percorreu um trajeto íntegro contínuo, mas interagiu com a fissura e com microfissuras do entorno, levando a trajetos difratados/alongados e a chegadas tardias (NEVILLE, 2016; MALHOTRA; CARINO, 2004). Esse comportamento é frequente em regiões entre viga–pilar, regiões de elevada concentração de esforços, retrações e, em estruturas maduras, possíveis efeitos de corrosão das armaduras, fatores que favorecem a abertura e a propagação de fissuras ao longo da vida útil (NEVILLE, 2016).

A leitura conjunta com a esclerometria é útil, diferenças discretas de dureza superficial próximas à junta, embora pequenas, são compatíveis com o quadro de heterogeneidade revelado pela velocidade de pulso ultrassônico (VPU). Para inferências mecânicas, a literatura recomenda combinar as duas técnicas com calibração local, evitando interpretações a partir de valores absolutos isolados

(MALHOTRA; CARINO, 2004). Em síntese, os resultados apontam para dano significativo na vizinhança da fissura, com severidade decrescente ao afastar-se (P1 → P4).

– *Proposta de recuperação/mitigação*

Os resultados de ultrassom apontaram degradação pronunciada na interface pilar/viga, com aumento relevante do tempo de trânsito junto à fissura e recuperação progressiva com a distância, padrão típico de descontinuidade aberta acompanhada por microfissuração adjacente. Diante desse cenário e considerando a necessidade de restabelecer a continuidade do material e a estanqueidade local, adotou-se a injeção de resina epóxi (ilustrado na **Figura 41**) de baixa a média viscosidade, seguida de selagem superficial. Trata-se de técnica consagrada no meio técnico brasileiro para colmatação estrutural de fissuras estáveis (HELENE, 1992; SOUZA; RIPPER, 1998). Sendo necessário após tal processo o acompanhamento e controle, com pós-inspeção e reteste por ultrassom nos mesmos pontos de diagnóstico.

Figura 41 – Aplicação de injeção com resina epóxi



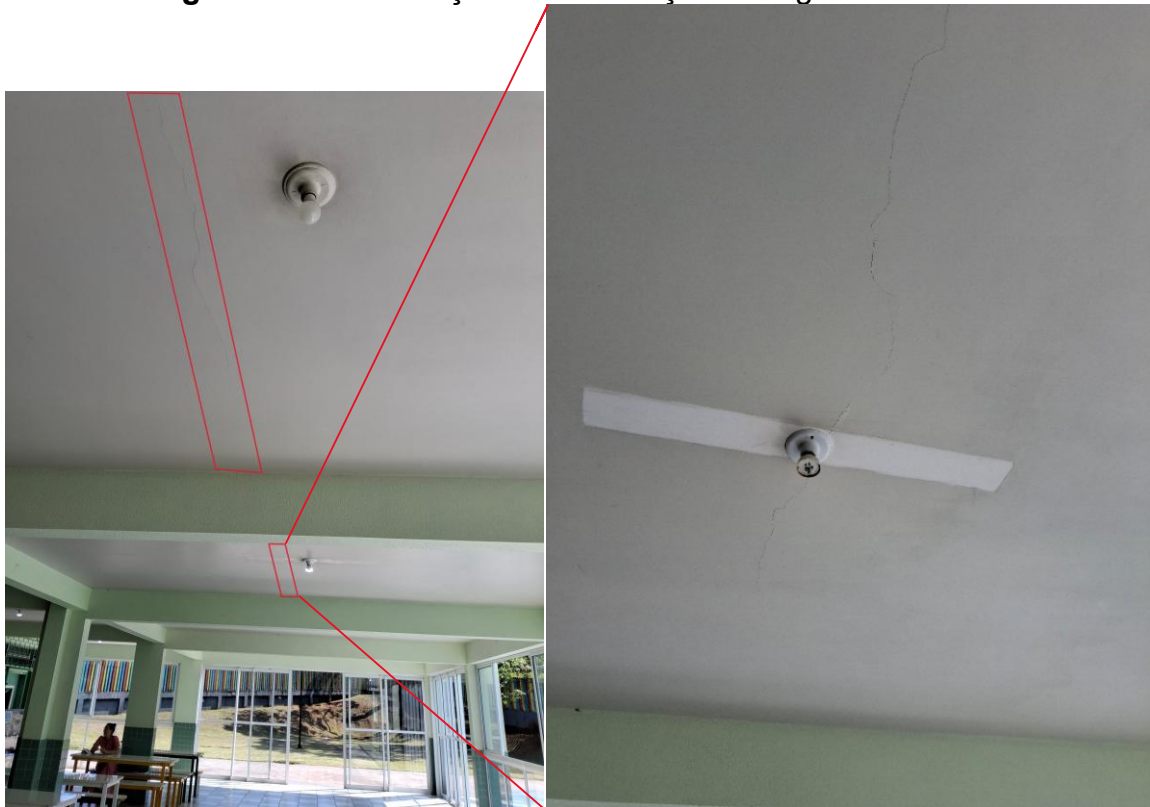
Fonte: Projeto A, 2023.

5.2.2 Manifestação patológica em laje (região de circulação)

No átrio principal de circulação foi identificada uma fissura longitudinal contínua que se estende por panos sucessivos de laje (**Figura 42**), o que motivou a investigação do estado do elemento estrutural. Foi adotado procedimento análogo ao empregado na interface pilar–viga: mapeamento prévio de armaduras por pacometria para evitar leituras sobre barras ou cobrimentos muito reduzidos e, na sequência,

ensaio esclerométrico em três regiões definidas (A1, A2 e A3) ilustrada na **Figura 43**, conforme recomendações normativas e boas práticas de ensaio in loco (ABNT, 2012; MALHOTRA; CARINO, 2004). Neste ensaio a esclerometria foi aplicada pela orientação vertical. Sendo apresentado na **Tabela 8**, os resultados obtidos para cada área aplicada.

Figura 42 – Localização e identificação de região ensaiada.



Fonte: AUTOR, 2025.

Figura 43 – Regiões utilizadas para ensaio de esclerometria em laja estudada



Fonte: AUTOR, 2025.

Tabela 8 – Quadro resultado de índice esclerométrico para laje da circulação.

Região	A1				A2				A3			
Índice Esclerométrico	33	37	32	37	32	33	33	34	33	34	36	37
	34	33	37	35	30	31	32	33	34	33	32	35
	36	33	33	35	35	31	31	32	32	33	38	36
	34	39	35	35	31	33	33	32	32	36	38	35
Media:	34,83				32,29				34,57			
Média sup.:	38,32				35,52				38,02			
Média inf.:	31,35				29,06				31,11			
Índice Esclerométrico	34,57				32,29				34,10			

Fonte: AUTOR, 2025.

Tabela 9 – Resumo de índice esclerométrico em laje da circulação.

Região – Área ensaiada	Índice Esclerométrico
A1	34,57
A2	32,29
A3	34,10

Fonte: AUTOR, 2025.

A **Tabela 9** sintetiza os índices esclerométricos obtidos: A1 = 34,57; A2 = 32,29; A3 = 34,10. Nota-se que A2 apresenta valores ligeiramente inferiores aos de A1 e A3 (reduções da ordem de 7,1% e 5,6%, respectivamente). Tal contraste, embora possa indicar possível redução local da dureza superficial na faixa avaliada, permanece pequeno para conclusões isoladas, pois o método é sensível a variáveis como umidade superficial, carbonatação, textura e orientação do ensaio, além da influência de armaduras rasas, fatores que podem elevar ou reduzir o índice sem representar, necessariamente, perda efetiva de resistência (ABNT, 2012; NEVILLE, 2012). A literatura reforça que o esclerômetro fornece essencialmente uma apreciação

superficial e indireta, devendo ser correlacionado por meio de calibração local ou combinado a outra técnica não destrutiva para interpretação estrutural mais confiável (MALHOTRA; CARINO, 2004).

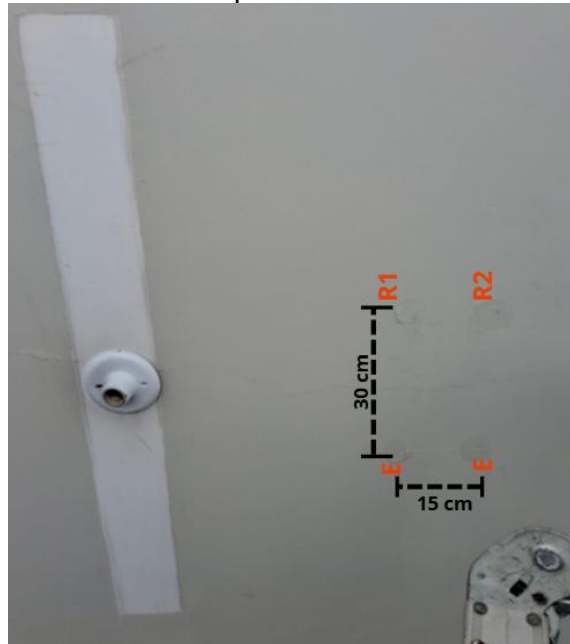
Diante desse cenário, optou-se por complementar a análise com ultrassom, a fim de investigar a continuidade interna do concreto e a dimensão/alcance da fissura longitudinal observada na laje, procedimento recomendado quando o objetivo é transcender a leitura superficial e avaliar a integridade dada pela propagação das ondas (ABNT, 2013).

Na sequência, para a aplicação do ensaio de ultrassom, adotou-se o arranjo indireto, apropriado a lajes por permitir medições na mesma face, mantendo os transdutores separados por $L = 30$ cm nas duas regiões definidas junto à fissura (A1 e A2), conforme ilustrado na **Figura 44-45**. O procedimento de medição seguiu as boas práticas de preparo superficial e acoplamento, e a velocidade calculada pela Equação 1 descrita pela NBR 8802 (ABNT, 2013). Adiante, ilustrado na **Tabela 10** os resultados obtidos para ambas as regiões.

Figura 44 – Regiões para aplicação de ensaio ultrassom para laje de circulação



Fonte: AUTOR, 2025.

Figura 45 – Representação dos pontos de ensaio ultrassom em área A2, análogo para A1.

Fonte: AUTOR, 2025.

Tabela 10 – Quadro dos resultados de ultrassom para região da laje de circulação.

Região	Pontos ensaiado	Distância entre transdutores (cm)	Variação da propagação da onda (μ s)	Velocidade da Onda (m/s)
A1	R1	30	222	1351
	R2	30	320	937,5
A2	R1	30	243	1234
	R2	30	180	1666

Fonte: AUTOR, 2025.

As médias por região foram de aproximadamente 1144 m/s em A1 e 1450 m/s em A2. Tomando como referência local o melhor desempenho observado (A2–R2, de aproximadamente 1666 m/s). O ponto A1–R2, em particular, apresentou o maior tempo de trânsito e a menor velocidade, sugerindo descontinuidade relevante no trajeto da onda. Os valores de A1 e A2 se mantiveram no intervalo esperado para propagação superficial em arranjo indireto, sendo relativamente inferior ao da transmissão direta, ainda assim, as quedas expressivas observadas em A1, sobretudo no ponto R2, indicaram uma zona mais danificada junto à linha de fissura, com provável microfissuração e possível descolamento parcial do meio, causando atraso por difração/contorno da descontinuidade (MALHOTRA; CARINO, 2004;

MAIERHOFER et.al, 2010;).

Tal leitura se mostrou coerente com a etapa anterior, ao da esclerometria, em que havia mostrado diferenças discretas entre regiões, típicas de efeitos de carbonatação nas partes superficiais do concreto. Já o ultrassom, acrescentou a visão volumétrica, permitindo distinguir melhor a influência da fissura no interior da laje (ABNT, 2012; NEVILLE, 2016). Em conjunto, os métodos apontaram para maior severidade local em A1, em específico para R2 e desempenho relativamente superior em A2.

– Proposta de recuperação/mitigação

A partir dos resultados obtidos na manifestação da laje, mostraram a presença de fissura longitudinal com perdas de velocidade ultrassônica localmente, indicando redução de continuidade do elemento de concreto próximo a linha de fissura. Diante desse quadro, adotou-se, como possibilidade de recuperação, costura estrutural associado à injeção de resina epóxi, afim de restituir a monoliticidade ao longo da fissura, limitar a reaberturas sob o serviço e melhorar a durabilidade do elemento (HELENE, 1992; SOUZA; RIPPER, 1998).

5.2.3 Manifestação patológica em região de reservatório

A inspeção na região do reservatório (**Figuras 46-47**) evidenciou um quadro de degradação típico de ambiente úmido, com infiltrações, formação de estalactites, fissuras e indícios de corrosão de armaduras. Esses achados foram coerentes com processos de lixiviação, carbonatação da camada superficial e perda de passivação do aço, usualmente agravados por manutenção insuficiente ao longo do tempo (NEVILLE, 2016; MEHTA; MONTEIRO, 2008). Diante disso, estruturou-se um diagnóstico por etapas, analogamente descritas para as manifestações anteriores.

Figura 46 – Localização de região estudada.

Fonte: AUTOR, 2025.

Figura 47 – Manifestações patológicas na laje da região estudada.

Fonte: AUTOR, 2025.

Inicialmente, definiram-se duas regiões de estudo, A1 e A2 (**Figura 48**). Em ambas, realizou-se pacometria para localizar as barras e selecionar pontos com menor influência do aço. Em seguida, procedeu-se à limpeza e à leve regularização com pedra carborundum. Com a superfície preparada, aplicou-se a esclerometria na posição vertical (**Figura 49**), conforme a NBR 7584 e as boas práticas para ensaios in situ (ABNT, 2012; MALHOTRA; CARINO, 2004). Essa sequência buscou reduzir vieses e garantir que as leituras de dureza superficial fossem representativas das condições locais.

Figura 48 – Delimitação de área para ensaio de esclerometria

Fonte: AUTOR, 2025.

Figura 49 – Aplicação do ensaio de esclerometria em laje de reservatório

Fonte: AUTOR, 2025

Os resultados dos índices esclerométricos consolidados (**Tabela 11**) mostraram médias de 38,39 e 40,25, para A1 e A2 respectivamente. Observa-se discreta elevação do índice em relação as áreas anteriormente estudadas (interface de viga-pilar PV 07 e área de circulação). Este aumento de dureza superficial pode estar associado a carbonatação da camada mais externa e a variações locais de umidade, fator conhecido por afetar a leitura sem representar necessariamente maior resistência do núcleo (ABNT, 2012; NEVILLE, 2016; MALHOTRA; CARINO, 2004). Por esse motivo, a esclerometria foi tomada como indício qualitativo e não como prova conclusiva, motivando a etapa seguinte do diagnóstico.

Tabela 11 – Quadro resultado de índice esclerométrico para região do reservatório.

Região	A1				A2			
Índice Esclerométrico	41	33	37	40	41	41	39	41
	41	42	41	39	36	43	42	37
	39	39	37	36	43	40	41	42
	39	38	37	39	40	41	41	41
Media:	38,39				40,25			
Média sup.:	42,23				44,27			
Média inf.:	34,55				36,22			
Índice Esclerométrico	38,75				40,54			

Fonte: AUTOR, 2025.

Tabela 12 – Resumo de índice esclerométrico em região do reservatório

Região – Área ensaiada	Índice Esclerométrico
A1	38,75
A2	40,54

Fonte: AUTOR, 2025.

Na sequência, aplicou-se o ultrassom em arranjo indireto, adequado a lajes por permitir medições na mesma face (ABNT, 2013). Mantiveram-se as regiões A1 e A2 e acrescentou-se um ponto próximo à fissura (PF) (**Figura 50**). As distâncias entre transdutores foram de 30 cm para A1 e PF e de 24 cm e 48 cm para A2 (**Figuras 51–52**). A velocidade foi calculada pela relação a Equação 1 descrita anteriormente (ABNT, 2013).

Em A1, obtiveram-se 2206, 1840 e 2255 m/s; em A2, 2376, 2436, 2017 e 1983 m/s; e, no ponto PF, 955 m/s, sintetizadas pela **Tabela 13**. As leituras de A1–A2 permaneceram no intervalo típico de propagação superficial para arranjo indireto (≈ 2000 – 2500 m/s), enquanto o PF apresentou velocidade aproximadamente 55–60% menor, o que caracterizou descontinuidade relevante (fissura aberta, delaminação ou

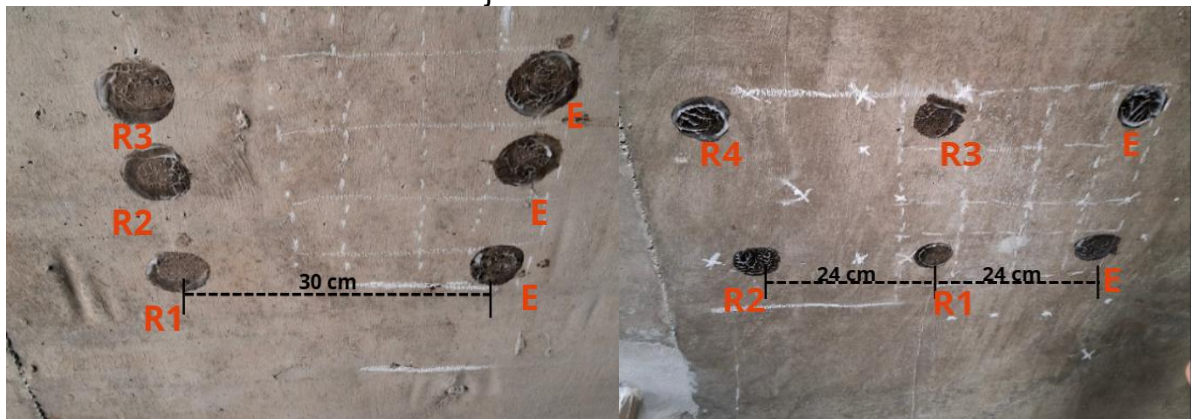
vazios) interceptando o trajeto do pulso e o atrasando (MALHOTRA; CARINO, 2004; MAIERHOFER et.al, 2010).

Figura 50 – Área para ensaio de ultrassom em região de reservatório

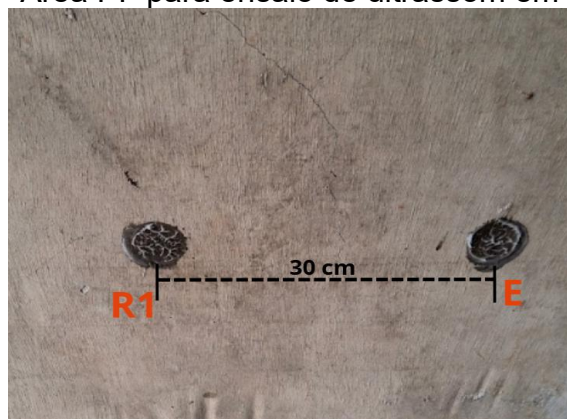


Fonte: AUTOR, 2025.

Figura 51 – Área A1 (esquerda) e A2 (direita) utilizada para ensaio de ultrassom em laje do reservatório.



Fonte: AUTOR, 2025

Figura 52 – Área PF para ensaio de ultrassom em reservatório.

Fonte: AUTOR, 2025.

Tabela 13 – Quadro dos resultados de ultrassom para região de reservatório

Região	Pontos ensaiado	Distância entre transdutores (cm)	Varição da propagação da onda (μ s)	Velocidade da Onda (m/s)
A1	R1	30	136	2206
	R2	30	163	1840
	R3	30	133	2255
A2	R1	24	101	2376
	R2	48	197	2436
	R3	24	119	2017
	R4	48	242	1983
PF	R1	30	314	955

Fonte: AUTOR, 2025.

Quando os dois métodos foram integrados, concluiu-se que a esclerometria indicou apenas leve endurecimento superficial em A2, plausivelmente associado à carbonatação e a condições de umidade, ao passo que o ultrassom discriminou a integridade volumétrica, apontando comportamento relativamente uniforme em A1–A2 e degradação notável no ponto PF. Essa leitura convergiu com as evidências visuais de infiltração e de processos de corrosão registradas na inspeção (NEVILLE, 2016; MEHTA; MONTEIRO, 2008). Por fim, para maiores compreensões, se recomenda ampliar o mapeamento ultrassônico, e se necessário, empregar tomografia para dimensionar a descontinuidade.

– Proposta de recuperação/mitigação

A inspeção no reservatório evidenciou infiltrações, estalactites e sinais de corrosão. O ultrassom indicou zona com perda de continuidade compatível com descontinuidade aberta nas proximidades da fissura. Para estabelecer a estanqueidade, recompor o concreto deteriorado e reduzir a agressividade ao aço, deverá ser adotado um ciclo de recuperação em três frentes: (i) estancamento da água, inicialmente com injeção de poliuretano hidroreativo (PU), e na sequência, o tratamento de fissuras sem fluxo ativo (com a utilização de resina epóxi de baixa viscosidade e/ou selante elastoméricos compatível); (ii) reparar o concreto, com a aplicação de argamassa de reparo classe R3/R4; e (iii) impermeabilizar a face interna, com sistema adequado à pressão negativa, com argamassa polimérica ou sistema cristalizante (HELENE, 1992; SOUZA; RIPPER, 1998).

5.3 Classificação das manifestações patológicas pela matriz GUT

Tendo conhecimento das manifestações patológicas anteriormente discutidas, neste tópico será aplicado a metodologia da Matriz GUT (Gravidade, Urgência, Tendência) para priorizar as ações de manutenção/recuperação sobre as tais. Adotou-se a escala sintetizada pelas **Tabelas 2, 3, 4** abortadas no capítulo de Revisão Bibliográfica. Dessa forma, na sequência será ilustrada pela **Tabela 14** o desenvolvimento da metodologia.

Tabela 14 – Aplicação de metodologia GUT para priorização da manifestação

Manifestação Patológica	G	Justificativa	U	Justificativa	T	Justificativa	GxUxT	Prioridade
Região de Reservatório	8	Perda funcional/ operacional relevante	8	Evitar vazamento e restabelecer estanqueidade	10	Progresso imediato com água atuante	640	1°
Interface Pilar-Viga	8	Potencial de degradação do desempenho e segurança caso não tratada	8	Intervenção para evitar evolução da trinca; sem evidencia de colapso iminente	8	Piora a curto prazo por concentração de esforços e possível entrada de umidade	512	2°
Laje de região da Circulação	6	Risco a integridade global baixo no curto prazo	6	Proposto reparo ser executado brevemente para evitar agravamento	8	Tendencia de agravamento a curto/longo prazo	288	3°

Fonte: AUTOR, 2025.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou ir além de apenas a identificação das falhas contidas em uma estrutura escolar pública. Por meio da integração de inspeções visuais minuciosas com os ensaios não destrutivos (ENDs), tais como a pacometria, esclerometria e ultrassom, foi possível construir um diagnóstico técnico robusto, capaz de revelar e/ou apresentar não apenas os sintomas, mas também a profundidade e a gravidade dos danos na integridade da estrutura da EMEF Ponte da Amizade.

Os resultados alcançados foram claros e de necessidade de atenção. A análise da interface pilar-viga demonstrou que uma trinca aparentemente simples continha uma significativa degradação interna, com velocidades ultrassônicas caindo para menos da metade do valor esperado para concretos sãos. Na laje da circulação, uma fissura continua com potencial de evoluir e de atuar como via preferencial para agentes agressivos, comprometendo a durabilidade, e por fim, a monoliticidade da estrutura. Porém, o caso mais crítico, foi relacionado ao reservatório, onde que pela combinação de infiltrações, corrosão das armaduras e da descontinuidade interna da fissura (evidenciada pela drástica redução da velocidade do ultrassom para 955 m/s), configurou-se como a principal preocupação.

De forma global, os resultados confirmaram a importância de utilizar ENDs como ferramentas complementares à inspeção visual. Enquanto a inspeção orientou a seleção dos pontos críticos e a leitura dos mecanismos prováveis, a pacometria reduziu incertezas de posicionamento de armaduras, a esclerometria forneceu uma referência comparativa da dureza superficial do concreto e o ultrassom contribuiu para interpretar a integridade interna e a influência das fissuras na continuidade (ou descontinuidade) do material. Assim, a abordagem combinada mostrou-se compatível com o objetivo deste trabalho de apoiar decisões de manutenção com base técnica e com mínima intervenção destrutiva.

Por fim, com a aplicação da Matriz GUT (Gravidade, Urgência, Tendência) foi crucial para transformar dados técnicos em um plano de ação viável. Ela forneceu uma lógica objetiva para priorizar as intervenções, destacando o reservatório como a área de máxima prioridade (GUT=640), seguido pela interface pilar-viga (GUT=512) e, por último, a laje de circulação (GUT=288). Essa abordagem baseada em evidências é fundamental, especialmente em contextos de recursos públicos

limitados, pois cada real investido deve ter o maior impacto possível na segurança e na durabilidade da edificação.

Assim, este estudo reforça uma verdade muitas vezes esquecidas: a manutenção predial não é um custo, mas um investimento essencial. A cultura “construir e esquecer”, comum em gestão de ativos públicos, gera um ciclo vicioso da deterioração acelerada, reparos emergências caros e, em casos mais extremos, riscos à saúde/vida dos usuários, que neste caso, sendo crianças, professores, zeladoras, cozinheiras.

Portanto, recomenda-se a implementação de medidas de recuperação, sendo este trabalho uma proposta de medidas a serem aplicadas, seguida por um programa sistemático de monitoramento e inspeções anuais. Ao adotar tal postura, a gestão da EMEF Ponte da Amizade não apenas preservará seu patrimônio físico, mas, acima de tudo, garantirá um ambiente de ensino mais seguro, saudável e digno para toda a sua comunidade escolar.

Como limitações do estudo, destaca-se que os ENDs empregados fornecem, predominantemente, interpretações comparativas e dependentes das condições de ensaio (umidade, acabamento superficial, acessibilidade e geometria do elemento). Portanto, se faz a recomendação para trabalhos futuros, ampliar o mapeamento ultrassônico, associar técnicas complementares quando necessário (como medições de potencial de corrosão, resistividade elétrica, carbonatação, termografia e extração pontual de testemunhos em casos críticos) e, sobretudo, consolidar um plano contínuo de inspeção e manutenção. Cabe ressaltar que tais manifestações patológicas podem ser não apenas consequência da falta de manutenção, mas também ter origem nas fases de projeto e/ou execução.

Por fim, considerando a possibilidade de ampliação de estudos futuros com técnicas complementares, evidencia-se a necessidade de novas aquisições de equipamentos para o laboratório de ECI, a fim de atender a essas demandas e aumentar a robustez das pesquisas.

REFERÊNCIAS

- AECWEB. **Como evitar e remover eflorescências em estruturas de concreto?** São Paulo: AECweb, 2019. Atualizado em: 28 mar. 2023. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/como-evitar-e-remover-eflorescencias-em-estruturas-de-concreto/19336>. Acesso em: 2 jul. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584: Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674: Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**. Rio de Janeiro, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802: Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações Habitacionais — Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747: Inspeção Predial — Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2020.
- BERNARDO, Aline. **Cuidados na execução da concretagem**. 2019. 1 fotografia. Disponível em: <https://sospatologias.blogspot.com/2019/04/cuidados-na-execucao-da-concretagem.html>. Acesso em: 28 jun 2025.
- BERTOLINI, Luca; ELSENER, Bernhard.; PEDEFERRI, Pietro; POLDER, Rob. **Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair**. 2. ed. Wiley, 2004.
- Braga, I. C., Brandão, F. S., Ribeiro, F. R. C., Diógenes, A. G. **Aplicação da Matriz GUT na análise de manifestações patológicas em construções históricas**. Revista ALCONPAT. 2019. pp. 320–335, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i3.400>. Disponível em: <https://revistaalconpat.org/index.php/RA/article/view/400/590>. Acesso em: 20 mar 2025
- BRASIL ESCOLA. **Principais manifestações patológicas encontradas em edificações**. São Paulo: UOL Educação, 2023. Disponível em: <https://monografias.brasilecola.uol.com.br/engenharia/principais-manifestacoes-patologicas-encontradas-em-uma-edificacao.htm>. Acesso em: 2 jul. 2025.
- BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. **Art. 205**.
- CANEVA, G.; NUGARI, M. P.; SALVADORI, O. **La Biología en la Restauración**. Traducción de Rosalía Gómez. Sevilla: Nerea, 2000.
- DANTAS, Gilvan C. de S.; SOUSA, Wellington R. de; ANDRADE, Danilo T. M. de. **EM PINTURAS: IDENTIFICAÇÃO, CAUSAS E TRATAMENTO EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR**. Revista FT. DOI: 10.69849/revistaft/ch10202412080451. Disponível:

<https://revistaft.com.br/analises-de-manifestacoes-patologicas-em-pinturas-identificacao-causas-e-tratamento-em-residencia-unifamiliar/>. Acesso: 23 jul. 2025.

GARCIA, Jean R.; ALBUQUERQUE, Paulo J. R. de. **Patologia das Construções**. 1. ed. São Paulo: LTC, 2025.

GOMIDE, Tito L. F. et al. **Manual de Engenharia Diagnóstica – Desempenho, Manifestações Patológicas e Perícias na Construção Civil**, 2ª ed., LEUD, 2021. Disponível em: https://leueditora.com.br/wp-content/uploads/2021/02/PDF_divulgacao_sumario.pdf. Acesso: 21 mar 2025.

GOMIDE, Tito L. F. **Ferramentas de Investigação Técnica (FIT) na Engenharia Diagnóstica (ED)**. Engenharia Diagnóstica, São Paulo, 25 set. 2018. Disponível em: <http://engenhariadiagnostica.com.br/site/ferramentas-de-investigacao-tecnica-fit-na-engenharia-diagnostica-ed/>. Acesso em: 19 mar 2025.

GOMIDE, Tito L. F.; FLORA, Stella M. D. **Diagnóstico na construção civil**. 2 ago. 2023. 18 p. Disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wp-content/uploads/2023/08/Artigo-Diagnostico-na-Construcao-Civil-FINAL.pdf>. Acesso em: 19 mar 2025

GONZALES, F. D.; OLIVEIRA, D. L.; AMARANTE, M. DOS S. **Patologias na Construção Civil**. Revista Pesquisa e Ação, v. 6, n. 1, p. 128-139, 31 maio 2020.

GRANATO, José Eduardo. **Patologia das construções**. 2021. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/538887082/Patologia-Das-Construcoes-Jose-Eduardo-Granato>. Acesso em: 2 jul. 2025.

HELENE, P.; GARCIA, M.; NETO, C.S. **SEFE V, 5º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia**, 2004. Disponível em: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2004/07/V-seminario-de-engenharia-2004-Funda%C3%A7%C3%B5es-Especiais.pdf>. Acesso em: 20 mar 2025.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 1993. ISBN 85-7266-010-0

HELENE, Paulo R. L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2 ed. São Paulo: Ed. Pini, 1992. 213 p.

INSTITUTO DE ENGENHARIA. **Diretrizes Técnicas de Engenharia Diagnóstica em Edificações**. Comissão técnica coordenada por Tito Lívio Ferreira Gomide et al. São Paulo, 16 jan. 2014. 24 p. Disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wp-content/uploads/2017/10/arqnot8482.pdf>. Acesso em: 25 mar 2025.

MARTINS, N., PESSOA, R., NASCIMENTO, R. **Priorização na Resolução de Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado: Método GUT**. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada. 2017. 2 (3): 139-147. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.25286/rep.v2i3.707>. Acesso em: 20 mar 2025.

MAXIMIANO, Antonio C. A. **Teoria geral da administração: da revolução urbana à revolução digital**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials**. 4. ed. McGraw-Hill Education, 2014. ISBN: 9780071797870

MEIRA, Gibson R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: fundamentos, diagnóstico e prevenção**. João Pessoa: IFPB, 2017. 130 p. : il. ISBN 978-85-63406-62-0

MINDESS, S.; YOUNG, J. F.; DARWIN, D. **Concrete**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2003.

NETO, Daniel A. dos S.; BARROSO, Felipe M. ; COELHO, Max E. de A. **Análise Das Patologias Das Construções Em Um Edifício Educacional Da Cidade De Manaus**. Revista FT. DOI:10.5281/zenodo.7351574. Disponível em: <https://revistaft.com.br/analise-das-patologias-das-construcoes-em-um-edificio-educacional-da-cidade-de-manaus/>. Acesso em: 2 jul. 2025.

NEVILLE, Adam M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2013.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. 5ª ed., São Paulo, 2016

OLIVARI, Giorgio. **Patologia em edificações**. 2003. TCC (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2003.

PIANCASTELLI, Élvio M. **Patologia e terapia das estruturas: sintomas e causas das enfermidades**. Brasil, 2005.

POURBAIX, Marcel. **Lecciones de corrosión electroquímica**. 3. ed. Bruselas: CEBELCOR, 1987, 387 p.

SILVA, Maria A. L. A. da; LAURSEN, Anderson. **Patologias da construção civil: investigação patológica em edifício comercial de Caruaru-PE**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 07, Ed. 11, Vol. 12, pp. 69-85. Novembro de 2022. ISSN: 2448-0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/investigacao-patologica>. Acesso em: 10 jun 2025.

SOUZA, Bruno L. V.; DE PAULA, Maria E. O. **Análise das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado: Um estudo de caso em uma usina sucroalcooleira no estado de Minas Gerais**. 2023. TCC (Graduação em Engenharia Civil), Centro Universitário UNA, Itumbiara, 2023.

SOUZA, U. E. L.; RIPPER, T. J. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

SOUZA, Washington B. de; MATOSKI, Adalberto. **Characterization of mould in masonry in hospital environment — Case study**. Open Journal of Civil Engineering, v. 6, n. 4, p. 618–630, 2016. DOI: 10.4236/ojce.2016.640507. Disponível: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=70722>. Acesso em: 3 jul. 2025

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1989.

TUUTTI, Kyösti. **Corrosion of Steel in Concrete**. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982.

VERZOLA, S. N., MARCHIORI, F. F, ARAGON, J. O. **Proposta de lista de verificação para inspeção predial x urgência das manutenções.** In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, XV ENTAC, 2014, Maceió: Alagoas (Brasil), pp. 1226-1235. Disponível em: <http://doi.org/10.17012/entac2014.300>. Acesso em: 20 mar 2025.

MAIERHOFER, Christiane.; REINHARDT, Hans-W.; DOBMANN, Gerd. **Non-Destructive Evaluation of Reinforced Concrete Structures.** Cambridge: Woodhead Publishing, 2010.

MALHOTRA, V. Mohan.; CARINO, Nicholas. J. **Handbook on Nondestructive Testing of Concrete.** 2. ed. Boca Raton, 2004.

