



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO CENTRO DE
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS – CCET
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL-CCEC

LINDEMBERG DOS SANTOS SILVA
MARCELO FERREIRA GALVÃO

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO: Análise
das Manifestações Patológicas em Obras de Arte Especiais, Um Estudo de Caso na Ponte do
Ipase em São Luís - MA

São Luís - MA
2026

LINDEMBERG DOS SANTOS SILVA
MARCELO FERREIRA GALVÃO

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO: Análise das
Manifestações Patológicas em Obras de Arte Especiais: Um Estudo de Caso na Ponte do Ipase em São
Luís - MA.

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Federal do Maranhão.

Orientador: Professor M.Sc. Mikhail Luczynski

São Luís - MA
2026

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo analisar as manifestações patológicas existentes na Ponte do Ipase, localizada em São Luís – MA, por meio de inspeção in loco, mapeamento fotográfico e ensaios não destrutivos. Inicialmente, desenvolveu-se uma revisão bibliográfica sobre durabilidade, vida útil e mecanismos de degradação característicos de obras de arte especiais. Em seguida, realizou-se a etapa prática, que incluiu os ensaios de esclerometria e carbonatação. Os resultados permitiram identificar patologias como fissuras, trincas, corrosão das armaduras, destacamento de cobrimento e desprendimento do substrato, sobretudo na infraestrutura, cenário associado à ausência de manutenção preventiva somada à exposição contínua a agentes agressivos. Apesar do quadro patológico relevante, os valores esclerométricos obtidos indicaram resistências estimadas entre 30 MPa e 32 MPa, que não estão compatíveis com o mínimo normativo para a classe de agressividade ambiental da estrutura. O ensaio de carbonatação revelou as manifestações patológicas e avanço de deterioração por ação salina, reforçando a necessidade de intervenções corretivas. Concluiu-se que o monitoramento periódico e o gerenciamento adequado dessas estruturas mostraram-se essenciais para prolongar a vida útil e preservar a segurança operacional, evitando o agravamento das manifestações identificadas.

Palavras-chave: Carbonatação; Estruturas de concreto; Obras de arte especiais; Patologias; Esclerometria.

ABSTRACT

The present study aimed to analyze the existing pathological manifestations of the Ipace Bridge, located in São Luís, Maranhão, Brazil, through on-site inspections, photographic mapping, and non-destructive testing. Initially, a literature review was conducted addressing durability, service life, and degradation mechanisms characteristic of special engineering structures. Subsequently, the practical phase was carried out, including rebound hammer and carbonation tests. The results allowed the identification of pathologies such as cracks, fissures, reinforcement corrosion, concrete cover detachment, and substrate debonding, especially in the substructure, a scenario associated with the lack of preventive maintenance combined with continuous exposure to aggressive agents. Despite the significant pathological condition, the rebound hammer results indicated estimated compressive strengths between 30 MPa and 32 MPa, which are not compatible with the minimum normative requirements for the environmental aggressiveness class of the structure. The carbonation test revealed pathological manifestations and the progression of deterioration due to saline action, reinforcing the need for corrective interventions. It was concluded that periodic monitoring and proper management of these structures are essential to extend their service life and preserve operational safety, preventing the worsening of the identified manifestations.

Keywords: Carbonation; Concrete structures; Bridges; Pathologies; Rebound hammer.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e saúde concedidas ao longo desta jornada acadêmica. Aos meus pais, pelo apoio incondicional, amor e por acreditarem nos meus sonhos mesmo nos momentos de maior dificuldade. Sem o suporte de vocês, esta conquista não seria possível.

EPÍGRAFE

"Educação não transforma o mundo. Educação muda as pessoas. Pessoas transformam o mundo."

(Paulo Freire)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Viaduto do Café.....	p. 12
Figura 2 — Esquema ilustrativo dos elementos estruturais.....	p. 14
Figura 3 — Diferenciação entre aberturas de Fissuras e Trincas.....	p. 16
Figura 4 — Tipos de corrosão na estrutura de aço.....	p. 17
Figura 5 — Fissura em 45° na viga longitudinal.....	p. 18
Figura 6 — Esquema de funcionamento do esclerômetro.....	p. 19
Figura 7 — Ensaio de Esclerometria em pilar.....	p. 20
Figura 8 — Ensaio de Carbonatação.....	p. 22
Figura 9 — Procedimentos Metodológicos.....	p. 24
Figura 10 — Vista aérea da ponte.....	p. 25
Figura 11 — Manifestações patológicas encontradas na viga de travamento.....	p. 26
Figura 12 — Corrosão de armadura na viga de travamento.....	p. 27
Figura 13 — Corrosão da armadura na viga longarina e viga de travamento.....	p. 27
Figura 14 — Corrosão de armadura na viga longarina metálica.....	p. 28
Figura 15 — Fissura no alinhamento da junta de dilatação.....	p. 28
Figura 16 — Fissura no alinhamento da junta de dilatação.....	p. 29
Figura 17a — Pedra utilizada para remover impurezas.....	p. 30
Figura 17b — Elementos estruturais analisados.....	p. 31
Figura 18 — Áreas de ensaio normativo.....	p. 31
Figura 19 — Área de ensaio demarcada.....	p. 32
Figura 20 — Esclerômetro usado no teste da maraca Controls.....	p. 32
Figura 21 — Processo de ensaio em execução.....	p. 33
Figura 22 — Fenolftaleína a 1% usada no ensaio.....	p. 34
Figura 23 — Processo do ensaio de carbonatação em execução.....	p. 34
Figura 24 — Fissuras nas vigas de travamento e estacas.....	p. 35
Figura 25 — Perda de seção por corrosão em longarinas.....	p. 36
Figura 26 — Processo de corrosão nas vigas longarinas.....	p. 36
Figura 27 — Perda de seção.....	p. 37
Figura 28 — Resultados dos índices esclerométricos.....	p. 38
Figura 29 — Classe de agressividade ambiental (CAA).....	p. 39
Figura 30 — Correspondência entre classe e qualidade do concreto.....	p. 39
Figura 31 — Ensaio de carbonatação nas viga de travamento.....	p. 40

Figura 32 — Indicação de despassivação do concreto.....	p. 41
Figura 33 — Ensaio em armadura oxidada.....	p. 42
Figura 34 — Ensaio com armadura exposta.....	p. 42

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAA – Classe de Agressividade Ambiental

CO₂ – Dióxido de Carbono

END – Ensaio Não Destrutivo

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

MA – Maranhão

NBR – Norma Brasileira

OAE – Obra de Arte Especial

pH – Potencial Hidrogeniônico

RS – Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	p. 11
1.1 Justificativa	p. 13
1.2 Objetivos	p. 13
1.2.1 Objetivo geral	p. 13
1.2.2 Objetivos específicos	p. 13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	p. 14
2.1 Pontes em concreto armado	p. 14
2.1.1 Durabilidade/Vida Útil	p. 15
2.2 Patologias em elementos estruturais (vigas e lajes)	p. 15
2.2.1 Trincas e Fissuras	p. 16
2.2.2 Corrosão	p. 16
2.3 Decorrência de patologias	p. 18
2.3.1 Manifestações patológicas decorrentes de erro de projeto e execução	p. 18
2.4 Ensaios de caracterização de patologias	p. 19
2.4.1 Ensaio de Esclerometria	p. 20
2.5 Ensaio de Carbonatação	p. 22
3 MATERIAIS E MÉTODOS	p. 24
4 ESTUDO DE CASO	p. 25
4.1 Localização da ponte	p. 25
4.2 Caracterização estrutural	p. 25
4.2.1 Viga de travamento	p. 26
4.2.2 Longarina em aço	p. 27
4.2.3 Juntas de dilatação	p. 28
4.3 Ensaios realizados in loco	p. 29
4.3.1 Ensaio esclerométrico	p. 30
4.3.2 Ensaio de carbonatação	p. 33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	p. 35
5.1 Manifestações patológicas identificadas	p. 35
5.2 Ensaio de esclerometria	p. 38
5.3 Ensaio de carbonatação	p. 40
5.4 Análise normativa	p. 43
6 CONCLUSÃO	p. 45
REFERÊNCIAS	p. 47

1 INTRODUÇÃO

Na era contemporânea, em que a busca pela praticidade e eficiência nas tarefas diárias é cada vez mais intensa, é imprescindível que todas as áreas que compõem a sociedade estejam em pleno funcionamento (Pinheiro, 2022). Uma vez que numa parcela significativa dessa área seja desempenhada à engenharia civil, destaca-se a construção de pontes, que segundo a NBR 9452:2023 são definidos como uma obra que possibilita a transposição de um obstáculo.

Nesse sentido, a construção civil vem sofrendo com o problema bem recorrente que as vezes são negligenciados devido a exigência em relação ao tempo da conclusão da obra, trazendo e ignorando requisitos importantes durante as etapas da execução, surgindo problemas na estrutura que compromete a durabilidade e estabilidade da estrutura dando lugar ao que se denomina patologias da construção civil.

As patologias construtivas são problemas comuns na construção civil e podem incluir diversas manifestações, como umidades, trincas, fissuras e descolamento de revestimentos. Existem classificações variadas e diferentes níveis de gravidade, exigindo medidas que podem ir desde procedimentos menos invasivos até investimentos financeiros significativos (Alves; Fonseca, 2022).

Araújo (2017), investigador técnico do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo, comenta que a perda da capacidade resistente das estruturas, seja em estruturas de concreto, madeira ou metálicas, está vinculada a questões como a idade que estas estruturas possuem, o uso ao qual foram projetadas, a exposição ao meio ambiente onde está inserida (região rural, urbana, industrial e litorânea, por exemplo) e a falta de atividades de manutenção.

No que tange aos elementos estruturais como vigas, pilares e lajes, o presente trabalho tem como foco fazer uma análise qualitativa entre resistência do concreto utilizado nesses elementos com o diagnóstico das patologias sofridas. As etiologias mais comuns das patologias de estruturas de vigas, pilares e lajes são: excesso de carga, variações térmicas e de umidade, agentes biológicos, incompatibilidade de materiais, má utilização, falha de projeto, falha de execução, dentre outros (Erat, et al. 2016; Gonzales et al. 2020).

Entre os sintomas mais comuns estão fissuras, infiltrações, corrosão de armaduras, desagregação do concreto e recalques diferenciais (Ferreira & Oliveira, 2021). Segundo Vasconcelos (2018), no Brasil a grande maioria das pontes e viadutos existentes são construídas em estruturas de concreto armado. Nesse contexto, é crucial analisar os possíveis agentes deteriorantes dessas estruturas para garantir a segurança e a longevidade esperada dessas

construções, visto que são expostas a distintos tipos de agentes agressivos e solicitações.

Os usuários, ao trafegarem sobre essas estruturas, não percebem o nível de desgaste que elas podem apresentar, pois geralmente só se nota o estado do pavimento e não dos demais elementos estruturais que as compõem. Isso reflete a importância de operar periodicamente inspeções, de modo a avaliar a condição desses elementos, a fim de manter os padrões de segurança e funcionalidade necessários.

Um episódio no Viaduto do Café ocorrido recentemente foi abordado pelo G1 Maranhão na data 03 de novembro de 2024: “ Após a constatação de problemas estruturais no Viaduto do Café, na região do Outeiro da Cruz, em São Luís, a Justiça determinou que o Estado deve realizar obras de reforma visando a segurança dos pedestres e motoristas. Cabe recurso da decisão. O viaduto foi construído pelo governo do Estado, na década de 90, mas deste então passou por raros serviços de manutenção, de modo que os pilares e outras estruturas estão desgastadas pelo tempo..”

Evidencia-se, como foi reportado, que a causa mais provável e aceita pelas autoridades foram a ausência das manutenções com devidos reparos corretivos e/ou preventivos. Tratando de elos que quando combinados trazem efeitos e consequências danosas para toda sociedade.

Dessa forma, o presente estudo contribuirá para o desenvolvimento de uma análise das manifestações patológicas reincidentes, empregando como parâmetro a Ponte Do Ipase, em São Luís - MA, que poucas vezes passou por melhorias, sendo gradativamente desgastado por ação do tempo (intempéries) e falta de manutenções.

Figura 1 – Viaduto do Café antes da reforma



Fonte: G1 Maranhão (2024).

1.1 Justificativa

A abordagem sobre patologias em obras de arte especiais é de extrema importância, uma vez que as mesmas podem sinalizar potenciais riscos em escalas variadas para as estruturas, além de indicarem a necessidade de manutenção preventiva visando evitar danos futuros. A presença de falhas pode atuar de forma negativa com a geração de insegurança e insatisfação entre população que frequentemente transita por ela.

O processo de análise das patologias, juntamente com o estudo de suas causas e consequências pode auxiliar elucidação do problema e alertar construtoras e profissionais da área sobre a importância da investigação. Dessa forma a adoção de medidas preventivas contribui para reduzir riscos e garantir a segurança e a longevidade das construções.

O conhecimento sobre essas práticas é asseguradamente uma estratégia muito eficaz para prolongar a vida útil dos elementos estruturais, assim como garantir as propriedades mecânicas dos mesmos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar as atuais condições estruturais da Ponte Do Ipase, localizada em São Luís – MA, a partir de ensaios não destrutivos e por meio do ensaio de carbonatação, a fim de estimular um sistema de gerenciamento mais eficaz visando aprimorar o processo de inspeção.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Realizar a leitura fotográfica da Ponte do Ipase, identificando as manifestações patológicas observadas.
- b) Produzir ensaio de esclerometria.
- c) Executar ensaio de carbonatação.
- d) Discorrer sobre as possíveis causas das patologias verificadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

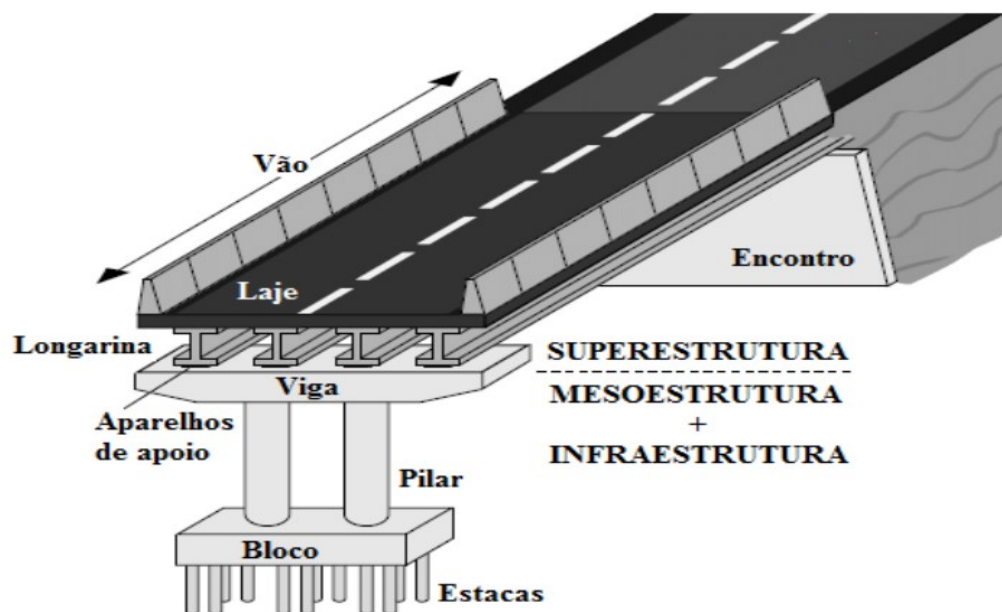
De acordo com Botelho; Marchetti, 2018, as pontes são estruturas de engenharia essenciais para assegurar a continuidade do fluxo viário, sendo projetadas especificamente para superar barreiras físicas, sejam elas naturais, como rios e mares, ou artificiais, como cruzamentos com outras vias. Em áreas com alta densidade de trânsito, as pontes apresentam uma solução eficaz para manter a organização e fluidez dos deslocamentos.

Este item fornece uma fundamentação teórica dos conceitos fundamentais relacionados ao tema abordado neste trabalho. Com maior destaque em pontes de concreto armado, abordando com maior riqueza de detalhes a ocorrência de patologias manifestadas nos elementos estruturais de tais estruturas.

2.1 Pontes em concreto armado

Uma estrutura de concreto armado consiste em uma combinação resistente de concreto, que é uma mistura de pedra, areia, cimento e água formando uma pedra artificial, com um reforço que suporta tensões de tração, geralmente feito de aço. Essa união sólida pode ser encontrada em várias formas, como lajes, vigas, pilares, bancos de jardim, tubos, vasos, entre outros elementos (Botelho; Marchetti, 2018), conforme ilustrado pela Figura 2.

Figura 2 – Esquema ilustrativo dos elementos estruturais



Fonte: Cavalcante(2016).

Na construção civil, existe uma grande concordância relacionada ao vasto campo de atuação do concreto armado, sua versatilidade faz com que tal material tenha um papel de

profunda importância no cotidiano. Características como versatilidade, resistência e durabilidade fazem com que o mesmo se apresente como uma das principais escolhas em técnicas construtivas no Brasil (Pires, 2023).

2.1.1 Durabilidade/Vida Útil

Gasparetto (2021) entende que a durabilidade consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início da elaboração do projeto.

Uma ponte, como qualquer outra OAE (Obras de Artes Especiais), também se deteriora com o passar do tempo e necessita de cuidados para não se debilitar e tornar-se vulnerável às ações de agentes, sejam eles endógenos ou exógenos, que ponham em risco as suas condições de estabilidade e funcionalidade (Medeiros et al., 2020).

A vida útil das estruturas está interligada a degeneração sofrida ao longo do tempo, acarretada por fatores variados, que afetam sua durabilidade e segurança, desta forma ao construir obras de arte especiais como pontes, é de profunda importância a análise minuciosa de todos os fatores que podem acelerar a deterioração da mesma Resende (2018).

Nascimento (2021) salienta que a vida útil de uma estrutura de concreto consegue desempenhar as funções para a qual foi projetada. Entretanto, existe uma grande quantidade de fatores que interferem nessa vida útil, desta forma eles devem ser considerados como resultantes de ações coordenadas e realizados em todas as etapas do processo construtivo.

2.2 Patologias em Obras de Arte Especiais

A demanda sobre estudos de manifestações patológicas em pontes e viadutos percebe-se a superação da antiga crença de que as estruturas de concreto seriam inabaláveis. Atualmente, entende-se que o alcance da vida útil dessas Obras de Arte Especiais está condicionado a um regime rigoroso de manutenção e à prevenção de falhas originadas em diferentes etapas da construção (Bastos et al., 2017).

O estudo das manifestações patológicas na construção civil refere-se à identificação de anomalias, das causas, consequências, dos métodos e técnicas de reparo em construções que apresentam defeitos (Lanzinha; Castro-Gomes, 2002; Gonzales et al. 2020).

De acordo com Bastos et al. (2017), o surgimento de patologias nas OAE, não decorre de um fator isolado, mas de uma combinação de falhas que podem ter origem no projeto, na execução inadequada ou no uso indevido da obra. Segundo Vasconcelos (2020), em pontes, o contato direto com a água do mar favorece a degradação, fazendo com que haja um aumento da ocorrência de patologias em pilares e outros elementos estruturais.

2.2.1 Trincas e Fissuras

O surgimento de fissuras gera um desconforto ao usuário e também uma falha no sistema de proteção dos constituintes internos do concreto (principalmente armadura), um meio de entrada para fatores externos como água, CO₂ (Dióxido de Carbono), fungos, que por sua vez dão início a um processo de degradação (Vasconcelos, 2018).

Segundo Vasconcelos (2018), as fissuras são aberturas capilares, geralmente superficiais, que não comprometem de imediato a estabilidade, entretanto servem como vetores para agentes agressivos. Já as trincas, conforme aponta Remenche (2022), possuem aberturas maiores, que pode indicar um seccionamento da peça estrutural e a necessidade de uma intervenção. A diferença entre os tipos de abertura que ocorrem nas estruturas está ilustrada na Figura 3.

Figura 3 – Diferença entre aberturas de Fissuras e Trincas

Tipo de Lesão	Abertura
Fissura	até 0,5 mm
Trinca	de 0,5 mm a 1,5 mm
Rachadura	de 1,5 mm a 5,0 mm
Fenda	de 5,0 mm a 10,0 mm
Brecha	acima de 10,0 mm

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2019).

Ainda é perceptível que existem classificações variadas e diferentes níveis de gravidade, exigindo medidas que podem ir desde procedimentos menos invasivos até investimentos financeiros significativos (Alves; Fonseca, 2022).

A definição da estratégia para o tratamento de fissuras tem relação com a identificação eficiente da origem e classificação quanto à movimentação, diferenciando-se em ativas ou passivas. Conforme destacam Magalhães e Oliveira (2017), essa distinção determina se há necessidade de intervenções mais complexas, como reforços estruturais, ou se procedimentos de recuperação simplificados são suficientes.

2.2.2 Corrosão

De acordo com Meira (2017) degradação de estrutura de concreto armado afeta a construção civil em todo o mundo e apresenta maior preocupação em zonas costeiras, onde atinge obras que seriam consideráveis dentro da vida útil. Para defender seu ponto de vista, o

autor cita casos de obras com menos de 25 anos que apresentam deterioração em armadura pela corrosão.

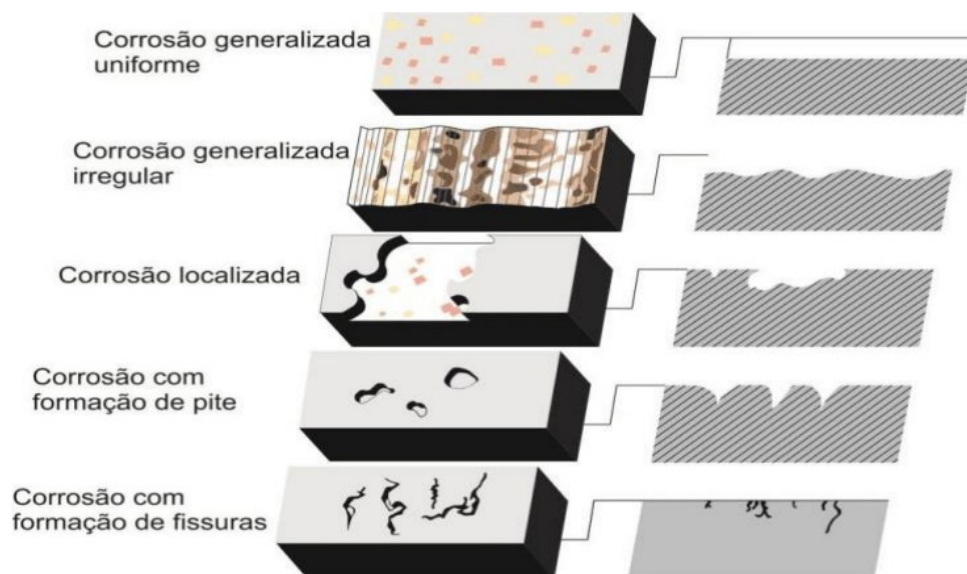
Aplicada às armaduras, pode-se a corrosão como sendo um processo resultante da interação de um material com o meio ambiente, acarretando reações de natureza química ou eletroquímica, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas, levando a destruição do material em questão (Do Nascimento, 2015).

Ainda segundo o autor, nas armaduras em concreto, este problema se manifesta em manchas superficiais, fissuras, destacamento do cobrimento de concreto da ferragem e perda de massa das armaduras, resultando em redução na secção de seus componentes.

Parafraseando Alves e Carvalho (2019), a classificação dos processos corrosivos ocorre em duas categorias: a forma generalizada e a localizada. Na modalidade generalizada, a degradação do metal se manifesta de maneira homogênea por extensas superfícies da estrutura, a Figura 4 mostra os tipos de corrosão que ocorrem nas estruturas de aço.

A corrosão localizada se concentra em pontos específicos, progredindo em profundidade e velocidade maiores quando comparada ao desgaste uniforme. Segundo Alves e Carvalho (2019), os processos supracitados podem exibir variadas configurações morfológicas no espectro superficial, mudando entre padrões regulares ou irregulares.

Figura 4 – Tipos de corrosão na estrutura de aço.



Fonte: Alves e Carvalho (2019)

2.3 Decorrência de patologias

Dentre os mais variados motivos que podem desencadear o surgimento de patologias em elementos estruturais como vigas, lajes ou pilares, muitos deles estão ligados a erros no projeto estrutural, nos quais as falhas técnicas na concepção estrutural acarretam tais problemas. Além disso, erros na execução também são muito recorrentes e também podem gerar problemas patológicos nas edificações (Thomaz, 2020).

2.3.1 Manifestações patológicas decorrentes de erro de projeto e execução

Uma grande causa de patologias no concreto é o uso de materiais de baixa qualidade. Bolina, Tutikian e Helene (2019) apontam que quando os agregados, a água ou o cimento não atendem as especificações técnicas, a estrutura de concreto se torna mais suscetível a problemas como retração, fissuras e até perda de resistência, inclusive em casos de reações álcali-agregados. A Figura 5, ilustra algumas imagens relacionadas a esses problemas encontrados no local.

Figura 5 - Fissura em 45° na viga longitudinal



Fonte: Silva (2017)

Bolina, Tutikian e Helene (2019) reforçam que a falta de manutenção preventiva é um dos fatores para o surgimento de patologias nas construções. Esses autores recomendam que as inspeções periódicas sejam realizadas com base em critérios técnicos rigorosos e envolvam o uso de ensaios tanto destrutivos quanto não destrutivos para avaliar adequadamente as condições das estruturas, o que pode ajudar a identificar pequenos problemas antes que se tornem grandes falhas estruturais.

2.4 Ensaios de caracterização de patologias

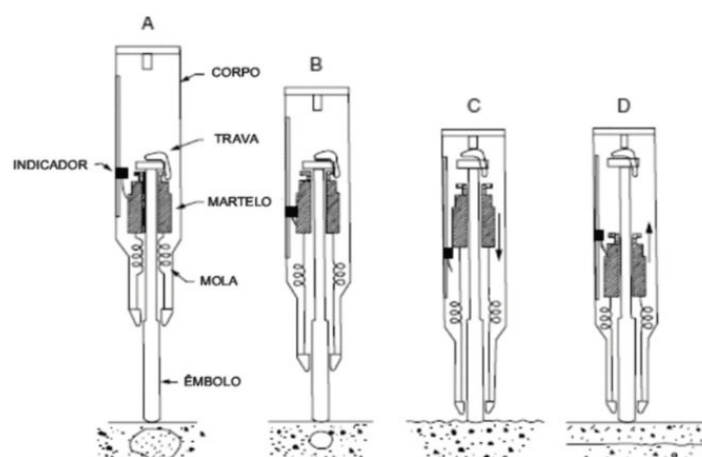
Segundo Neville (2016), o uso de ensaios não destrutivos possibilita menores danos à estrutura, não comprometendo o desempenho e a aparência do concreto. Além disso, essa técnica fornece uma maior segurança e permite uma melhor programação da construção, tornando o processo mais rápido e econômico.

Neste sentido, ensaios complementares quando realizados demonstram capacidade de fornecer um grande número de informações sobre a estrutura, além de mecanismos de deterioração que estão em desenvolvimento. Dentre as técnicas utilizadas destacam-se os ensaios não destrutivos nas pontes. Esses ensaios complementam inspeções visuais fornecendo informações adicionais sobre o estado e condições dos elementos analisados que não são detectados a olho nu (PENNDOT, 2021).

Segundo Shelman (2017), percebe-se que as técnicas que não geram destruição dos elementos possibilitam a aviação da capacidade de resistência, a qualidade do concreto, além da integridade da estrutura, com isso obtém-se diagnósticos mais precisos acerca da condição atual do elemento estudado.

Ainda de acordo com Shelman (2017), alguns ensaios não destrutivos como a esclerometria e velocidade de ondas ultrassônicas, têm a desvantagem de não medir a resistência à compressão e sim outras propriedades que se supõe correlacionadas a ela, na Figura 6 pode-se observar uma esquema de funcionamento do esclerômetro.

Figura 6 – Esquema de funcionamento do esclerômetro



Fonte: Da Silva (2017)

A – Instrumento pronto para o teste; B – Corpo impulsionado em direção teste;

C - Martelo é solto; D – O martelo sofre reflexão

2.4.1 Ensaio de Esclerometria

O ensaio de esclerometria, também conhecido como ensaio com esclerômetro de reflexão ou *Schmidt Hammer*, constitui um dos principais métodos não destrutivos empregados para estimar a resistência à compressão do concreto *in situ*, a partir da medição da dureza superficial do material (NBR 7584:2012).

Nesse procedimento, um martelo de mola impacta a superfície do elemento estrutural e o recuo do êmbolo é registrado como índice esclerométrico, o qual é posteriormente correlacionado com a resistência à compressão. Estudos recentes reforçam a importância desse ensaio em diagnósticos estruturais por permitir avaliações rápidas, de baixo custo e sem remoção de material, sendo amplamente aplicado em obras novas e em estruturas em serviço (De Paiva; Freitas; Soares, 2021; Estacechen, 2020).

A realização do ensaio é regida por procedimentos normalizados, que visam reduzir a variabilidade dos resultados. Conforme a ABNT NBR 7584:2012, devem ser realizados, em cada área de ensaio, ao menos 16 impactos válidos, distribuídos uniformemente, com distância mínima entre pontos e afastamento de bordas e armaduras aparentes.

Após a obtenção dos valores de índice esclerométrico, calcula-se a média, descarta-se os resultados que excedem $\pm 10\%$ dessa média e, em seguida, determina-se um novo valor médio, denominado índice esclerométrico médio.

Esse índice é então corrigido por meio de coeficientes fornecidos pelo fabricante do equipamento, resultando no índice esclerométrico efetivo, que é correlacionado à resistência à compressão estimada do concreto (ABNT NBR 7584:2012). A Figura 7 ilustra como é feito o processo do ensaio em um pilar, com uso do aparelho de demarcação de área.

Figura 7 – Ensaio de Esclerometria em um pilar



Fonte: Tosetto (2017)

Diversos autores têm destacado que a confiabilidade do ensaio depende de fatores como idade do concreto, tipo de cimento, teor de umidade, rugosidade superficial, posição de ensaio (vertical, horizontal ou invertida) e calibração adequada do equipamento. De Paiva, Freitas e Soares (2021) enfatizam que a falta de controle desses parâmetros pode levar a erros significativos na estimativa de resistência, motivo pelo qual recomendam o emprego do ensaio associado a métodos destrutivos ou a outros ensaios não destrutivos, como ultrassom.

Trabalhos que combinam esclerometria com outros ensaios não destrutivos, como ultrassom, têm indicado maior precisão na estimativa de resistência, consolidando a abordagem SonReb como alternativa robusta para avaliação de estruturas existentes (Almeida Júnior, 2019; Al-Neshawy et al., 2025).

No estudo de caso da Ponte do Ipase, o ensaio de esclerometria foi aplicado nas vigas de travamento localizados na zona da infraestrutura, previamente selecionados por apresentarem manifestações patológicas significativas, como fissuras, desagregação do concreto e evidências de corrosão de armaduras.

Antes da execução, procedeu-se à limpeza das áreas de ensaio com pedra abrasiva, objetivando remover partículas soltas, crostas e sujidades que pudessem interferir na leitura do equipamento. Em cada viga foram demarcadas áreas retangulares com capacidade para 16 impactos válidos, respeitando as recomendações de afastamento da NBR 7584:2012 e evitando impactos sobre armaduras aparentes ou regiões de destacamento de cobrimento.

Após a obtenção dos índices esclerométricos em cada ponto, calculou-se a média aritmética e, em seguida, foram excluídos os valores que excediam 10% para mais ou para menos em relação a essa média, conforme orienta a norma. Com os valores remanescentes, determinou-se o índice esclerométrico médio e, posteriormente, o índice efetivo, mediante aplicação do coeficiente de correção fornecido pelo fabricante do esclerômetro.

A partir das curvas de correlação disponibilizadas pelo equipamento, estimaram-se as resistências à compressão equivalentes, que variaram entre 30 MPa e 32 MPa para as vigas de travamento avaliadas, que são valores inferiores ao mínimo de 40 MPa recomendado pela ABNT NBR 6118:2023 para estruturas inseridas em classe de agressividade ambiental muito forte.

Por outro lado, a literatura ressalta que a esclerometria não deve ser utilizada isoladamente como único critério para decisões de reforço ou de interdição, em virtude de suas limitações intrínsecas e da influência de fatores externos na leitura do índice de ricochete (Negri et al., 2024).

Nesse sentido, no presente estudo, os resultados do ensaio foram interpretados em conjunto com a inspeção visual, com o mapeamento das manifestações patológicas e com o ensaio de carbonatação, o que permitiu uma avaliação mais abrangente do estado de conservação da ponte.

O ensaio de esclerometria mostrou-se uma ferramenta fundamental no diagnóstico estrutural da Ponte do Ipase, contribuindo para a compreensão do desempenho mecânico dos elementos avaliados e para o embasamento de futuras decisões de manutenção, reforço ou monitoramento contínuo.

2.5 Ensaio de Carbonatação

O ensaio de carbonatação é um método não destrutivo utilizado para determinar a profundidade da frente de carbonatação no concreto, fenômeno associado à redução do pH da matriz cimentícia devido à reação entre o dióxido de carbono atmosférico (CO_2) e os compostos hidratados do cimento, principalmente o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

A carbonatação do concreto consiste na reação entre o dióxido de carbono presente no ar e os produtos alcalinos da hidratação do cimento, especialmente o hidróxido de cálcio, resultando na formação de carbonato de cálcio (CaCO_3). Esse processo provoca a redução do pH do concreto, comprometendo a camada passivadora das armaduras e tornando o aço mais suscetível à corrosão (TORGAL et al., 2012). Trata-se de um dos mecanismos de deterioração mais relevantes em estruturas de concreto armado, sobretudo aquelas expostas a ambientes urbanos e marinhos, nos quais a presença de CO_2 e agentes agressivos acelera os fenômenos de degradação e reduz a durabilidade das estruturas (MEIRA; FERREIRA, 2019; BADARLOO et al., 2023). A Figura 8 ilustra como é feito o processo do ensaio.

Figura 8 – Ensaio de Carbontação



Fonte: Machado (2024)

A avaliação da profundidade de carbonatação é normatizada pela ABNT NBR 13528:2018, que disciplina o procedimento de aplicação do indicador fenolftaleína a 1% na superfície recém exposta do concreto, identificando-se como região carbonatada a área que não apresenta coloração rosada.

O contraste cromático permite estimar o avanço da frente de carbonatação em direção às armaduras, parâmetro crítico quando o cobrimento é reduzido ou quando a estrutura opera em ambientes agressivos. A simplicidade metodológica torna o ensaio amplamente utilizado em inspeções de campo, especialmente em obras em serviço.

Pesquisas recentes destacam a importância do ensaio na avaliação da durabilidade em pontes, viadutos e túneis submetidos à poluição atmosférica ou atmosfera marinha. Al-Neshawy et al. (2025) demonstraram que estruturas expostas a elevados níveis de CO₂ apresentam taxas de carbonatação significativamente maiores, sobretudo quando associadas à elevada permeabilidade do concreto.

As estruturas costeiras e ribeirinhas apresentam maior susceptibilidade ao fenômeno devido à associação entre carbonatação e ação de cloretos, dois agentes que contribuem para a despassivação das armaduras por mecanismos complementares, ainda que independentes.

Essa condição é frequentemente reportada em obras de arte especiais localizadas em cidades litorâneas, como Recife, Salvador e São Luís, conforme demonstrado por Meira & Ferreira (2019) e Medeiros et al. (2020), justificando o interesse crescente em inspeções baseadas em durabilidade.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo apresentou natureza teórico-prática, fundamentando-se em levantamento bibliográfico composto por monografias, artigos científicos, periódicos especializados e normas técnicas, além da coleta de dados obtidos diretamente no campo de estudo.

Com o intuito de atender aos objetivos estabelecidos na introdução, realizou-se uma inspeção qualitativa e descritiva em uma ponte localizada na Avenida Daniel de La Touche, em São Luís – MA, selecionada devido à sua relevância para a segurança dos usuários e às condições precárias observadas na estrutura.

A vistoria *in loco* foi conduzida em duas etapas complementares. Inicialmente, procedeu-se à etapa observacional, com registro fotográfico sistemático dos elementos estruturais e das manifestações patológicas visíveis. Em seguida, foram realizados ensaios experimentais não destrutivos, especificamente esclerometria e carbonatação.

O objetivo era estimar a resistência à compressão do concreto e identificar patologias relacionadas às condições ambientais e à classe de agressividade a que a estrutura esteve submetida. Posteriormente, as manifestações observadas foram classificadas quanto ao estado de conservação, possibilitando uma análise coerente do desempenho estrutural da ponte. O fluxograma das etapas metodológicas adotadas foi apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Procedimentos Metodológicos



Fonte: Autores (2025).

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Caracterização do campo de estudo

Segundo a reportagem da Imirante, realizada em 16 de janeiro de 2019, a Ponte do Ipase refere-se oficialmente à Ponte Hilton Rodrigues, cuja implantação está associada ao processo de expansão urbana de São Luís ocorrido a partir da segunda metade do século XX. A estrutura foi construída no final da década de 1980, desempenhando a função de ligação viária entre a Avenida Daniel de La Touche (Ipase) e a Avenida dos Franceses (Ivar Saldanha), configurando um importante eixo de mobilidade urbana, lustranda na Figura 10.

A ponte apresenta aproximadamente 350 metros de extensão e cerca de 11 metros de largura, conforme medição preliminar realizada. Não foi possível determinar com precisão as dimensões dos vãos e a altura da estrutura devido às limitações de acesso ao local. De modo geral, a obra consolidou-se como uma das primeiras intervenções de infraestrutura voltadas à expansão do tecido urbano da capital para além da área central histórica.

Figura 10 – Vista aérea da ponte



Fonte: Google Earth (2025)

4.2 Manifestações observadas

Através do levantamento técnico realizado, foi possível constatar sem auxílio de aparatos eletrônicos ou similar as evidências de manifestações na zona da mesoestrutura compreendida entre as longarinas, pilares e vigas transversais.

4.2.1 Viga de travamento

Segundo a NBR 6122:2022, a viga de travamento é o elemento estrutural responsável por transferir os esforços provenientes dos pilares (ou, no caso de pontes, da superestrutura composta pelo tabuleiro) para os elementos de fundação profunda, como estacas ou tubulões.

Nas obras de arte especiais, a transferência de esforços não ocorre de maneira direta: a viga de travamento desempenha papel relevante ao redistribuir as cargas provenientes das longarinas e do tabuleiro antes de sua transmissão a viga de travamento. Dessa forma, a viga de travamento atua como um intermediário estrutural, garantindo a compatibilidade geométrica, o alinhamento dos apoios e a correta difusão dos esforços até a viga, assegurando o funcionamento adequado da fundação e a estabilidade global da estrutura.

A constatação da manifestações patológica do tipo corrosão é devido a forte presença da oxidação das armaduras que devido a essa reação química entre o aço e o meio ambiente com predominância de sulfatos provenientes de esgotos in natura das edificações próximas. A corrosão das armaduras é apontada como uma das manifestações patológicas mais recorrentes e severas em pontes de concreto armado, sendo frequentemente desencadeada pela lixiviação, carbonatação ou pelo ataque de íons cloretos (Vasconcelos, 2018).

Este processo eletroquímico resulta na despassivação do aço, levando à formação de produtos de corrosão que ocupam um volume superior ao do metal original, gerando tensões internas que culminam em fissuras e no deslocamento do cobrimento (Medeiros et al., 2020). Portanto, se trata de um elemento estrutural de transição que tem sua importância baseada na funcionalidade da estrutura. As Figuras 11 e 12 mostram manifestações patológicas.

Figura 11 – Manifestações patológicas encontradas na viga de travamento



Fonte: Autores (2025).

Figura 12 – Corrosão da armadura na viga de travamento.



Fonte: Autores (2025).

4.2.2 Longarinas em aço

Segundo a NBR 8800:2024, as longarinas de aço são entendidas como componentes estruturais do tipo viga, geralmente horizontais, que têm a função de suportar e distribuir cargas em uma estrutura. Elas são essenciais para a resistência estrutural, seja em edifícios, pontes ou até mesmo veículos.

A mesma possui uma seção transversal I que em chapa de aço reforçada. A observação realizada detectou que o grau de agressividade do meio somado com o tempo decorrente sem nenhuma intervenção de manutenção da estrutura resultou em danos estruturais da longarina a alto grau devido ação da corrosão, conforme ilustrado pelas Figuras 13 e 14.

Figura 13 – Corrosão de armadura na viga longarina e viga de travamento



Fonte: Autores (2025).

Figura 14 – Corrosão de armadura na viga longitudinal metálica



Fonte: Autores (2025).

4.2.3 Juntas de dilatação

À luz da NBR 7187:2021, o detalhamento das juntas de dilatação em pontes em concreto armado deve considerar os deslocamentos relativos entre elementos estruturais e os efeitos associados a variações térmicas, carregamentos dinâmicos, retração, fluência e recalques diferenciais.

Ademais, a literatura técnica destaca que a compatibilização entre juntas de dilatação e aparelhos de apoio é essencial para evitar a geração de esforços nas longitudinalas, transversinas e vigas travessas durante os ciclos de serviço. Quando essa compatibilização não é alcançada, podem surgir tensões não previstas em projeto, alterando o estado limite de serviço da estrutura e reduzindo o conforto de rolamento (Medeiros et al., 2020; Souza; Ripper, 1998). A Figura 15 ilustra a ocorrência de fissuras no alinhamento da junta de dilatação.

Figura 15 – Fissura no alinhamento da junta de dilatação



Fonte: Autores (2025).

No tocante à execução, a instalação inadequada ou a adoção de dispositivos de junta incompatíveis com a mobilidade da superestrutura tende a resultar no surgimento de manifestações patológicas como trincas, fissuras e rachaduras na camada de rolamento, decorrentes da incapacidade do sistema de acomodar os efeitos térmicos e mecânicos induzidos pelo tráfego veicular (Almeida; Fonseca, 2020).

Outro problema frequentemente relatado é a perda de estanqueidade das juntas, que favorece a infiltração de água e o consequente transporte de agentes agressivos como cloretos, carbonatos e sulfatos. Em ambientes urbanos e marinhos, essa condição acelera o processo de corrosão das armaduras e deterioração dos aparelhos de apoio, afetando diretamente a durabilidade da infraestrutura (Meira; Ferreira, 2019). A Figura 16, ilustra ocorrência de manifestações patológicas que comprometem a durabilidade.

Figura 16 – Fissura no alinhamento da junta de dilatação



Fonte: Autores (2025).

Nesse sentido Segundo Ramos (2017), as juntas de dilatação são dispositivos essenciais projetados para permitir a movimentação livre e segura entre as partes de uma estrutura, como pontes e viadutos. A mesma atua tanto na absorção dos deslocamentos causados por variações térmicas e cargas dinâmicas, quanto na garantia da estanqueidade, evitando a infiltração de detritos e água que poderiam comprometer a integridade das vigas e dos aparelhos de apoio.

4.3 Ensaios realizados in loco

Após uma análise visual da estrutura, sucedeu-se a execução de dois ensaios não destrutivos que, como mencionado anteriormente, consistem em técnicas de inspeção de

materiais pouco invasivas de modo a não causar nenhuma alteração das propriedades características do elemento analisado. Os ensaios de esclerometria e carbonatação foram os experimentos definidos para verificação dos elementos estruturais da ponte.

4.3.1 Ensaio esclerométrico

Para análise, foram escolhidos três elementos estruturais (do tipo vigas de travamento) onde foram realizados os ensaios para constatação da sua resistência que estava sendo desempenhada. De acordo com o que foi constatado seu estado em que se encontravam com evidências de manifestação patológicas decorrentes das ações de agressividade do meio que está inserido através de um ambiente com forte presença de sais minerais oriundos do encontro entre as águas do Rio Anil com a corrente marítima.

Foi utilizada uma pedra abrasiva para auxiliar na limpeza da superfície para que não possa interferir nos resultados do ensaio como mostra a Figura 17a, enquanto a figura 17b mostra os elementos estruturais analisados.

Figura 17a – Pedra utilizada para remover impurezas



Fonte: Autores (2025).

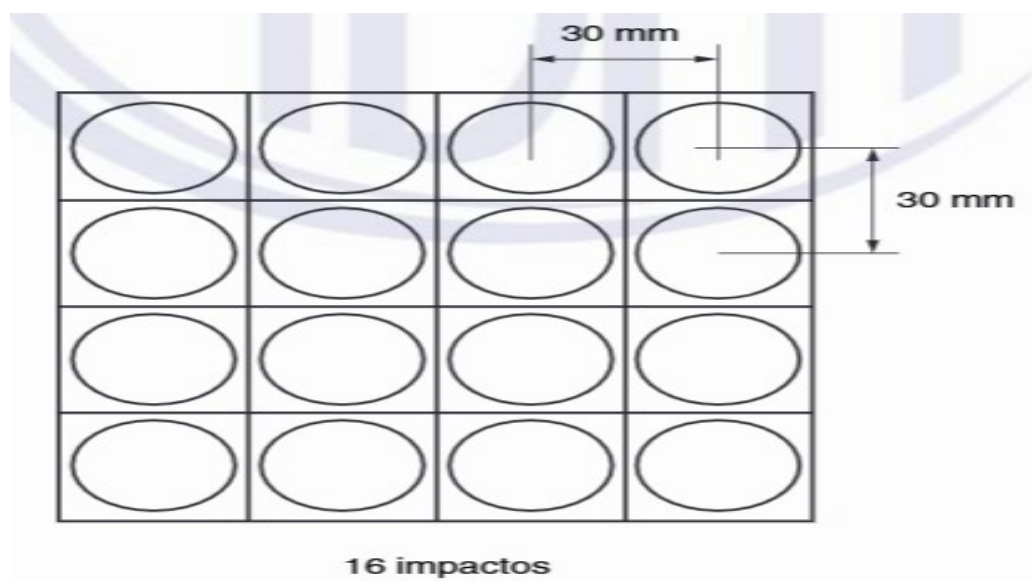
Figura 17b – Elementos estruturais analisados



Fonte: Autores (2025).

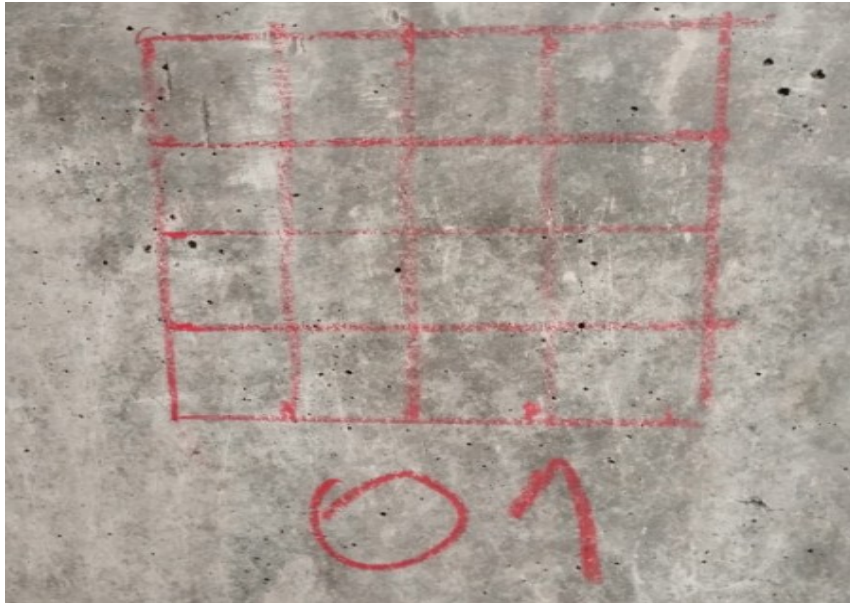
Após a área ser limpa, foram efetuadas marcações nos elementos estruturais, formando uma área com aporte para 16 impactos, estes que foram uniformemente distribuídos respeitando uma distância mínima de 30 mm de acordo com a norma ABNT NBR 7584:2012, como demonstrada nas Figuras 18 e 19.

Figura 18 – Áreas de ensaio normativa.



Fonte: ABNT NBR 7584 (2012).

Figura 19 – Áreas de ensaio demarcada.



Fonte: Autores (2025).

Após realizar todos estes procedimentos preparatórios preliminares, deu-se início ao ensaio com o esclerômetro de reflexão (representado nas Figuras 20 e 21), evitando impactos sobre armaduras, fragmentos e áreas similares que não apresentavam o concreto em avaliação, segundo o que a norma ABNT NBR 7584:2012 aborda.

Figura 20 – Esclerômetro usado no teste da marca Controls



Fonte: Autores (2025).

Figura 21 – Processo de ensaio em execução



Fonte: Autores (2025).

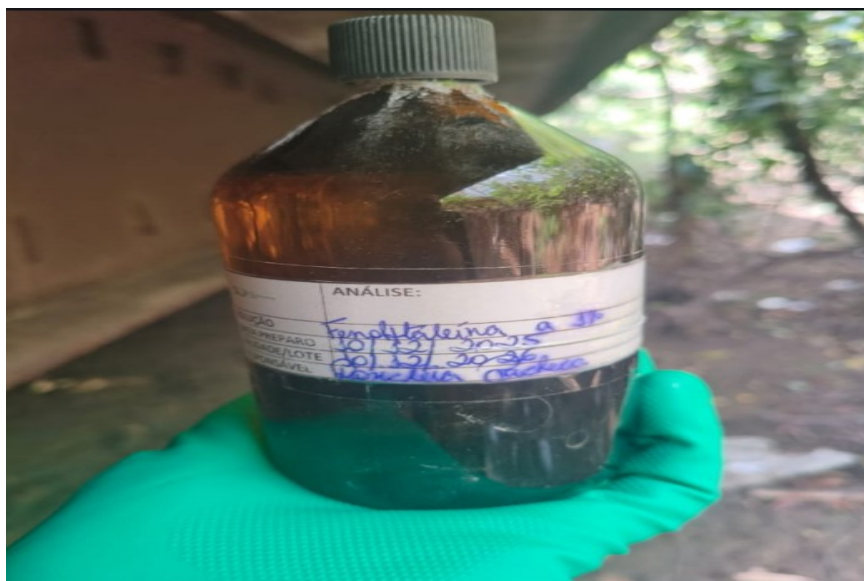
4.3.2 Ensaio de carbonatação

A carbonatação do concreto é o resultado da reação do dióxido de carbono presente na atmosfera com compostos do cimento hidratado, formando carbonato de cálcio. A partir desse processo ocorre a redução do pH do concreto, retirando assim a proteção alcalina que o mesmo exerce sobre a armadura, podendo então iniciar-se a corrosão do aço (Torgal et al., 2016).

De caráter complementar, com o intuito de investigar a presença de gás carbônico e sua influência sobre a estrutura para que podemos realizar sua análise e seus efeitos, também foi realizado um ensaio de carbonatação, visando adquirir conhecimento e elucidações sobre o comportamento superficial e complementar dos elementos abordados com o auxílio da substância fenolftaleína.

Dependendo da reação, ao entrar em contato com a estrutura produzirá como resultado uma tonalidade próxima da cor rosa/lilás (com pH alto acima de 9) característico de que não há manifestação patológica provocada pela presença do gás carbônico na atmosfera na qual a estrutura está inserida, como ilustrada nas Figuras 22 e 23.

Figura 22 – Fenolftaleína a 1% usado no ensaio



Fonte: Autores (2025).

Figura 23 – Processo do ensaio de carbontação em execução



Fonte: Autores (2025).

A ABNT NBR 13528:2018 foca no ensaio prático em estruturas de concreto endurecido, usando a fenolftaleína como indicador de pH para medir a profundidade da camada carbonatada. Neste tipo de ensaio, o método utilizado no campo de estudo desta pesquisa deu-se de caráter qualitativo, no qual enfatiza-se prioritariamente o perfil ao invés dos resultados apresentados.

Nesse sentido, o propósito é investigar a presença de possíveis anomalias e sua localização. Porém, na análise qualitativa, em determinadas situações, é necessária a determinação precisa, ou seja, os dados coletados são considerados apenas como referências aparentes, facilitando uma interpretação mais ágil.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Manifestações patológicas identificadas

Na data de 15 de novembro de 2025, foi constatada uma série de manifestações patológicas, tais como, fissuras, trincas, rachaduras, corrosão e desprendimento do substrato (concreto), inclusive na região da infraestrutura, o que pode acarretar a redução da capacidade de carga da ponte, podendo ser causados principalmente por falta de manutenção e falhas durante a própria execução da estrutura. Na Figuras 24, observa-se claramente o surgimento de fissuras e rachaduras na viga de travamento e estacas.

Figura 24: Fissuras encontradas na viga de travamento da ponte e estacas.



Fonte: Autores (2025).

A corrosão foi uma das manifestações patológicas identificadas, uma vez que constitui processo natural de deterioração do aço em presença de água e oxigênio. No caso analisado, o mecanismo de corrosão desenvolveu-se em duas fases principais: iniciação e propagação.

A fase de iniciação esteve associada ao avanço da frente de carbonatação, fenômeno pelo qual o dióxido de carbono atmosférico (CO_2) difunde-se na matriz porosa do concreto e 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 do meio. Esse processo resulta na despassivação do aço, favorecendo a corrosão quando presentes água e oxigênio, conforme discutido por Köliö et al. (2017).

No viaduto, essa manifestação ocorreu predominantemente nas vigas longarinas, conforme ilustrado nas Figuras 25 e 26, o que reforça a necessidade de atenção quanto à manutenção, tendo em vista que essas vigas constituem elementos fundamentais do sistema estrutural, uma vez que os tabuleiros se apoiam diretamente sobre elas.

Figura 25 – Perda de seção por corrosão em longarinas



Fonte: Autores (2025)

Figura 26 – Processo de corrosão nas vigas longarinas.

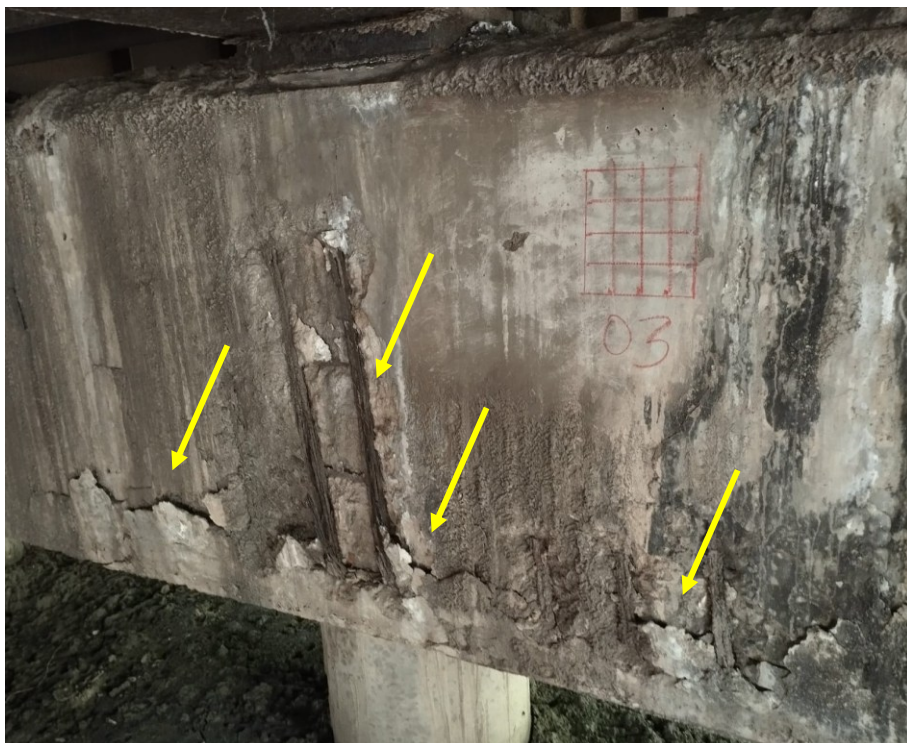


Fonte: Autores (2025).

O desprendimento do concreto é, geralmente, o estágio final de um processo de manifestação patológica, com a corrosão das armaduras sendo a causa principal na maioria dos casos, devido a sua expansão quando acometida pelo processo corrosivo. Onde se destaca uma perda muita importante da seção (Figura 27) de concreto fragilizando e diminuindo o desempenho estrutural da peça para qual foi dimensionada. Uma vez ocorrendo este evento, poem-se em risco (a depender do seu grau, de forma eminente) a durabilidade. A NBR 6118 estabelece critérios para evitar esses problemas, principalmente através das seguintes intervenções:

- a) Classe de agressividade ambiental (CAA): A norma classifica os ambientes (como urbano, industrial ou marinho) e, com base nessa classificação, determina os requisitos mínimos de qualidade do concreto e, fundamentalmente, a espessura do cobrimento da armadura. Para o estudo em questão, a CAA seria da ordem IV.
- b) Qualidade dos materiais e execução: Fatores como a relação água/cimento inadequada, falhas na cura, adensamento insuficiente (bicheiras) e uso de materiais de má qualidade comprometem a compacidade do concreto, facilitando a entrada de agentes agressivos (gás carbônico, cloretos) que levam à corrosão.

Figura 27 – Perda de seção.



Fonte: Autores (2025).

5.2 Ensaio de Esclerometria

Para a determinação dos valores definitivos do experimento, tornou-se necessário aplicar os procedimentos de cálculo estabelecidos pela ABNT NBR 7584:2012, os quais definiram o tratamento dos dados obtidos em campo. Ressalta-se que a metodologia descrita foi conduzida de forma individualizada para cada elemento avaliado, de modo que o procedimento completo foi repetido quatro vezes.

Inicialmente, os 16 valores do índice esclerométrico obtidos em cada ensaio foram somados e, em seguida, calculou-se a média aritmética desses resultados. Posteriormente, foram excluídos os valores que apresentaram variações superiores a $\pm 10\%$ em relação à média previamente determinada, com o objetivo de reduzir a influência de dispersões anômalas e aprimorar a representatividade estatística do conjunto de dados.

Após a etapa de filtragem, procedeu-se ao cálculo de uma nova média, denominada índice esclerométrico médio, a qual passou a representar o valor ajustado da série após o descarte dos outliers. Em sequência, determinou-se o índice esclerométrico efetivo, calculado por meio da multiplicação entre o índice esclerométrico médio e o coeficiente de correção fornecido pelo fabricante do equipamento, cujo valor se apresentou igual a 0,996.

Os resultados obtidos para cada execução do ensaio podem ser consultados na Figura 28, permitindo a comparação entre os elementos analisados e subsidiando a posterior estimativa da resistência à compressão do concreto.

Figura 28 – Resultados dos índices esclerométricos dos elementos analisados

OBRA: Ponte Governador Newton Bello				ABNT NBR 7584:2012		001	09/12/2025
ENDEREÇO: Ipase							
LOCAL:							
INFORMAÇÕES DAS PEÇAS ENSAIADAS				CARACTERÍSTICAS DO ESCLERÔMETRO			
Data da Concretagem: Não Informado				ESCLERÔMETRO: S09008229			
Idade: 28 dias +				MARCA: CONTROLS			
Data do Ensaio: 03/12/2025				MODELO: CO181/N			
Fck do Projeto: Não Informado				ENERGIA: 2,25 N			
Peça Ensaída: Bloco de apoio das vigas longarinas.				COEFICIENTE DE CORREÇÃO: K= 1.040			
PONTOS	01	02	03	04	05	06	07
ÂNGULOS	0°	0°	0°				
PEÇAS	Bloco de apoio 1	Bloco de apoio 2	Bloco de apoio 3				
ÍNDICES OBTIDOS	1	31,0	30,0	32,0			
	2	32,0	31,0	31,0			
	3	31,0	31,0	31,0			
	4	31,0	31,0	30,0			
	5	32,0	32,0	31,0			
	6	31,0	30,0	31,0			
	7	30,0	31,0	30,0			
	8	31,0	32,0	31,0			
	9	30,0	31,0	31,0			
	10	32,0	30,0	31,0			
	11	30,0	30,0	32,0			
	12	31,0	31,0	31,0			
	13	31,0	31,0	30,0			
	14	31,0	31,0	30,0			
	15	31,0	32,0	31,0			
	16	30,0	30,0	31,0			
1a. SOMA	495,0	494,0	494,0				
1a. MÉDIA	30,9	30,9	30,9				
-10%	27,8	27,8	27,8				
+10%	34,0	34,0	34,0				
2a. SOMA	495,0	494,0	494,0				
2a. MÉDIA	30,9	30,9	30,9				
ÍNDICE CORRIGIDO	32,2	32,1	32,1				
RESISTÊNCIA(Mpa)	32,2	32,1	32,1				
MÉDIA	32,1						

Fonte: Autores (2025).

Antecipadamente, analisou-se os resultados dos índices esclerométricos efetivos obtidos. É essencial pontuar que seja abordado alguns requisitos normativos, primeiramente quanto à classificação de agressividade ambiental cujo a construção está inserida, ou seja, refere-se às ações físicas e químicas que operam sobre as peças estruturais, esta condição conduzida pela norma ABNT NBR 6118:2023, dispõem ao estudo de caso em questão uma classe de Grau IV, ou seja, elevado risco de degradação da estrutura, conforme a Figura 29..

Figura 29 – Classe de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Frac	Rural	Insignificante
		Submerso	
II	Moderada	Urbano ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinho ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: ABNT NBR 6118:2023

Conforme a norma supracitada, deve-se verificar se a estrutura está em conformidade com os requisitos mínimos exigidos, no que diz respeito à resistência à compressão do concreto e sua durabilidade. No presente estudo, como os elementos estruturais examinados são pertencentes a uma classificação de agressividade de grau IV tem-se como mínimo um fck de 40 MPa, assinalado na Figura 30.

Os resultados podem apresentar uma certa imprecisão, devido à ausência do projeto estrutural do viaduto, no qual torna-se inviável o conhecimento sobre os parâmetros mínimos que foram previstos pelo projetista, logo foi conveniente para os autores, seguirem como orientação, os valores impostos pela norma responsável por orientar esse tipo de construção.

Figura 30 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

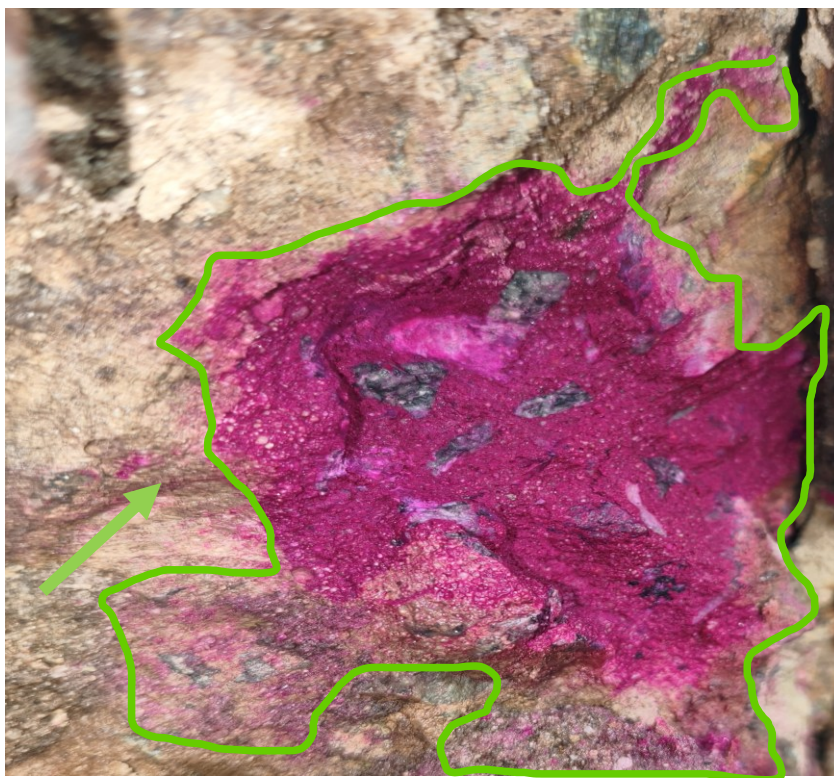
Fonte: ABNT NBR 6118:2023

Somente após ao término de averiguação destes parâmetros, foi possível analisar tecnicamente os valores obtidos, portanto, ao investigar os valores dos índices esclerométricos efetivos constatou-se que apesar da infraestrutura do viaduto apresentar condições alarmantes, os resultados mostraram-se satisfatórios nos elementos construtivos explorados, na qual as vigas de travamento apresentaram números de resistência à compressão do concreto entre 32,0 MPa; 31,0 MPa; 30,0 MPa, todos inferiores ao parâmetro mínimo de 40 MPa exigido pela norma ABNT NBR 6118:2023.

5.3 Ensaio de Carbonatação

A análise feita através do ensaio, observou-se algumas falhas estruturais como por exemplo, as viga de travamento da pontes, que apresentaram um excesso considerável de corrosão, desprendimento de concreto, fissuras e rachaduras, caracterizando uma região de bastante contato com água salobra/salina proveniente do rio Anil e da corrente marítima. Essa situação indica a significativa gravidade estrutural do mesmo, pois culmina na sua perda de resistência inicial. Pode-se observar nas Figuras 31 e 32 esses acometimentos.

Figura 31 – Ensaio de carbonatação na viga de travamento da ponte.



Fonte: Autores (2025).

Figura 32 – Indicação de despasse do concreto



Fonte: Autores (2025).

Este caso requer um acompanhamento mais rigoroso, pois a manifestação patológica resulta de fissuras e pequenas aberturas (brocas) não gerenciado ainda na fase de execução que surgem frequentemente devido à intensa movimentação de veículos e à exposição às intempéries. Nesse sentido, torna-se crucial a correção dessas anomalias visando evitar o acúmulo excessivo agentes agressivos na estrutura.

Após reparar a origem do problema, a correção de uma peça de concreto com carbonatação envolve a remoção do concreto deteriorado, o tratamento das armaduras corroídas e a aplicação de um novo material de reparo. Este é um método simples de executar e tem como principal vantagem a não reabsorção dos sais pelo material poroso.

Além disso, impermeabilizar a região que se encontra na infraestrutura é, nesse caso, fundamental, pois ao evitar a passagem de água ou umidade. As Figuras 33 e 34, ilustram a análise do ensaio em área da viga de travamento com armadura exposta em processo de oxidação.

Figura 33 – Ensaio em armadura oxidada.



Fonte: Autores (2025).

Figura 34 – Ensaio com armadura exposta.



Fonte: Autores (2025).

Uma forma de tratamento para combater essa manifestação patológica, conforme

Pellicer et al. (2016), quanto a recuperação das armaduras, deve-se primeiramente retirar a camada de cobrimento onde o concreto está em mau estado, posteriormente, por jateamento de areia ou água as superfícies da mesma são completamente limpas, sem vestígios de resíduos de concretos ou manchas de corrosão (etapa 1).

Ainda nessa fase de recuperação, é aplicado uma ou duas camadas de revestimento anticorrosivos a base de resinas de epóxi, de acordo com a necessidade, sendo que a segunda, caso precise, deve ser aplicada a partir do momento que a primeira estiver completamente seca (etapa 2). Por conseguinte (etapa 3), é executada a camada de regeneração do concreto utilizando argamassas a base de sílica ativa, cimento e reforçadas com fibras permitindo um acabamento liso. E por fim, é executado uma camada protetora de tinta contra anti-carbonatação (etapa 4).

5.4 Análise Normativa

O estudo realizado integrou procedimentos compatíveis com o que é preconizado pela NBR 9452:2023, norma que estabelece diretrizes para vistorias em obras de arte especiais (OAE). Assim como o trabalho, essa norma classifica a inspeção como ferramenta essencial para avaliação do estado de conservação, devendo registrar manifestações patológicas, condições ambientais, grau de deterioração e recomendações de manutenção.

Durante a vistoria da Ponte do Ipase, observou-se o levantamento sistemático das manifestações existentes, refletindo o escopo normativo de inspeção visual de nível básico e especial previsto pela NBR 9452: 2023.

O Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (2020) estabelece que a caracterização de patologias estruturais deve considerar sua origem, evolução e impacto sobre a segurança e funcionalidade da obra.

O estudo realizado aplicou esse entendimento ao identificar fissuras, trincas, corrosão, destacamento do cobrimento e desprendimento de concreto, indicando não apenas sua presença, mas também possíveis mecanismos deteriorantes, como aceleração por ambiente marinho e ausência de manutenção preventiva. Tal abordagem está alinhada ao DNIT quanto ao princípio de avaliação por severidade e extensão da deterioração.

Conforme o DNIT, o processo de inspeção deve obrigatoriamente considerar o ambiente de exposição, dada a sua relação direta com durabilidade. O estudo tratou a Ponte do Ipase como inserida em ambiente salino, situação que eleva o risco de corrosão por cloretos, um condicionante também destacado pela ABNT NBR 6118:2023, ao definir a Classe de Agressividade Ambiental (CAA).

O enquadramento da estrutura dentro da classe CAA III (forte) indicou coerência entre o

diagnóstico realizado e o protocolo técnico nacional para obras em ambiente agressivo.

A presença de longarinas, viga de travamento e juntas de dilatação no estudo reforçou outra diretriz normativa: a necessidade de diferenciar manifestações patológicas por subsistema estrutural. Tanto a NBR 9452:2023 quanto o DNIT segmentam a inspeção entre superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura para hierarquizar relevância e modo de falha. No trabalho, as manifestações mais críticas foram localizadas na mesoestrutura e infraestrutura, obedecendo ao mesmo modelo de classificação empregado pelo DNIT.

Outro ponto convergente diz respeito às juntas de dilatação, as quais, segundo o DNIT, estão entre os componentes que mais demandam manutenção corretiva. No caso analisado, patologias como fissuras e perda de estanqueidade foram observadas nesse subsistema, evidenciando o mesmo cenário reportado pelo DNIT quanto às patologias recorrentes em juntas de pontes brasileiras. Esses elementos também são tratados na ABNT NBR 7187:2021, a qual reforça sua importância para acomodação de deslocamentos térmicos e mecânicos.

O estudo incorporou ainda a aplicação de ensaios não destrutivos, etapa não obrigatória para inspeções de rotina, mas prevista tanto no DNIT quanto na NBR 9452:2023 como parte de inspeções especiais. O emprego do ensaio de esclerometria conforme NBR 7584:2012 e do ensaio de carbonatação conforme NBR 13528:2019 mostrou aderência à recomendação do DNIT de que inspeções avançadas devem quantificar deteriorações que não são possíveis de avaliar apenas pela observação visual.

Um elemento crítico normativo diz respeito ao conceito de durabilidade e vida útil, o qual foi corretamente considerado ao relacionar manifestações patológicas à ausência de manutenção preventiva. Tanto a NBR 9452:2013 quanto o DNIT enfatizam que a maioria das OAE brasileiras apresenta deterioração acelerada não por falhas de projeto, mas por falta de regime de manutenção, condição igualmente observada no caso da Ponte do Ipase, onde a degradação se intensificou ao longo de décadas sem intervenção.

Por fim, o estudo convergiu com o DNIT quanto ao tratamento das patologias com base em recomendações técnicas. As ações sugeridas (como recomposição de cobrimento, tratamento de armaduras, passivação, aplicação de revestimento anticarbonatação e impermeabilização de infraestrutura) coincidem com as prescrições de recuperação indicadas nos manuais federais e deferidas pela prática de engenharia nacional.

Assim, a pesquisa não apenas atendeu às diretrizes de inspeção, como também dialogou com o conceito de gerenciamento de OAE, finalidade última do conjunto normativo brasileiro.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como propósito analisar as manifestações patológicas existentes na Ponte do Ipase, localizada em São Luís – MA, por meio de revisão bibliográfica, inspeção visual e aplicação de ensaios não destrutivos.

A etapa teórica evidenciou que obras de arte especiais são estruturas que dependem diretamente da durabilidade, da vida útil projetada e da adoção de sistemas de manutenção preventiva para preservar seu desempenho estrutural, conforme amplamente discutido por autores que tratam de patologias em estruturas de concreto e de mecanismos de deterioração em ambientes agressivos.

A literatura consultada indicou que falhas de projeto, execução e manutenção constituem fatores recorrentes no surgimento de manifestações patológicas desse tipo de estrutura.

Durante a investigação *in loco* constatou-se um conjunto de manifestações patológicas relevantes, incluindo fissuras, trincas, corrosão das armaduras, destacamento de cobrimento e desprendimento do substrato, sobretudo na zona da infraestrutura e mesoestrutura da ponte.

Observou-se também que o ambiente no qual a ponte está inserida apresenta forte ação salina, com influência direta da corrente marítima e do Rio Anil, o que acelera processos de corrosão e compromete a integridade superficial dos elementos estruturais ao longo do tempo. Esse contexto reforçou a importância da classificação de agressividade ambiental como parâmetro normativo para obras dessa tipologia.

Os resultados dos ensaios não destrutivos permitiram uma análise mais aprofundada. O ensaio de esclerometria revelou valores de resistência estimada entre 30 MPa e 32 MPa, situando-se fora do limite mínimo exigido pela ABNT NBR 6118 para estruturas sujeitas a grau moderado de agressividade ambiental, conforme o padrão adotado para referência na ausência do projeto estrutural original.

Essa constatação demonstrou que, apesar das manifestações patológicas identificadas, o concreto das viga de travamento analisadas não conservava a resistência compatível com o desempenho esperado para tal estrutura. O ensaio de carbonatação, por sua vez, evidenciou o avanço de processos corrosivos e a presença de armaduras expostas, reforçando a necessidade de intervenções corretivas direcionadas à proteção superficial e à recomposição do cobrimento.

Com base nesses resultados, concluiu-se que a degradação observada ao longo da ponte decorreu principalmente da ausência de um regime de manutenção preventiva associado às condições ambientais severas, situação que tende a se agravar quando não monitorada

adequadamente. Assim, torna-se imprescindível a implementação de um programa sistemático de inspeção e monitoramento, associado a ações de manutenção corretiva e preventiva, a fim de prolongar a vida útil da estrutura, garantir a segurança da população usuária e mitigar custos futuros de reabilitação.

Por fim, os resultados obtidos na Ponte do Ipase indicaram a necessidade de adoção de medidas de recuperação e proteção, como: (i) remoção do concreto deteriorado, (ii) passivação das armaduras, (iii) recomposição com argamassa polimérica ou microrrevestimento de alta aderência e (iv) aplicação de tinta de barreira contra carbonatação.

Recomenda-se ainda que futuras intervenções considerem o uso de técnicas de reparo adequadas ao ambiente marinho, bem como a reavaliação periódica do estado das armaduras e do concreto, visando evitar a evolução para estados críticos de deterioração.

Portanto, o trabalho reafirmou a relevância de estudos de patologias em obras de arte especiais, demonstrando que inspeções técnicas e ensaios não destrutivos configuraram ferramentas fundamentais para diagnóstico estrutural e para o embasamento de decisões de engenharia que visem assegurar a funcionalidade, durabilidade e confiabilidade dessas obras no contexto urbano.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2023** – Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2023.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122:2022** — Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187:2022** – Projeto e execução de pontes, viadutos e passarelas de concreto armado e protendido — Procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584:2012** – Concreto endurecido — Determinação da dureza superficial pelo esclerômetro — Método de ensaio. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:2024** — Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto. Rio de Janeiro, 2024.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452:2019** – Vistorias de pontes, viadutos e passarelas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528:2018** – Avaliação da profundidade de carbonatação em estruturas de concreto — Método de ensaio. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018.

ALMEIDA, D. M. **Influência de manifestações patológicas precoces e erros construtivos em estruturas de concreto armado: proposição de uma escala de impacto na durabilidade.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ALMEIDA JÚNIOR, Racine Peixoto de. **Análise da correlação dos ensaios de esclerometria e ultrassom com a resistência à compressão do concreto.** 2019.

ALVES, J. C. C.; CARVALHO, L. G. S. **Corrosão: estudo de caso sobre ruptura do concreto.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 4, n. 10, p. 16–28, 2019.

ALVES, L. F.; FONSECA, M. T. J. **Patologias nos sistemas estruturais: estudo bibliográfico sobre as causas das manifestações patológicas em lajes maciças.** Centro Universitário AGES, 2020.

AL-NESHAWY, Fahim; WALLENIUS, Antti; PUNKKI, Jouni. **In-situ compressive strength assessment of reinforced concrete structures.** Nordic Concrete Research, n. 72, v. 1, p. 29–46, 2025.

ARIVABENE, A. C. **Patologias em estruturas de concreto armado: estudo de caso.** Revista Especialize On-line IPOG, Goiânia, v. 3, n. 10, p. 1–22, 2015.

ARAÚJO, C. J. R. V. **Principais aspectos abordados na ABNT NBR 9452:2016: importância das atividades de manutenção em pontes e viadutos e dificuldades de inspeção.** IPT, São Paulo, v.1, n.5, p.17–40, 2017.

BASTOS, H. C. N.; MIRANDA, M. Z. **Principais patologias em estruturas de concreto de pontes e viadutos: manuseio e manutenção das obras de arte especiais.** Revista Construindo, v. 9, n. 2, p. 92–101, 2017.

BAUTZ, R. S. et al. **Análise da qualidade do concreto em pilares de viadutos por meio de ensaios não destrutivos.** In: 1º Congresso Brasileiro de Patologia das Fundações, Foz do Iguaçu, 2014.

BADARLOO et al. **Investigating the effects of concrete mix design on the environmental impacts of reinforced concrete structures.** Buildings, v. 13, n. 5, p. 1313, 2023.

BOLINA, F.; TUTIKIAN, B.; HELENE, P. **Patologia de estruturas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado: eu te amo.** São Paulo: Blucher, 2018.

CARDOSO, Rafael. **Estrutura precária no viaduto do Café preocupa e governo do Maranhão é condenado a fazer reforma em São Luís.** G1 Maranhão, São Luís, 3 nov. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2024/11/03/estrutura-precaria-no-viaduto-do-cafe-preocupa-e-governo-do-maranhao-e-condenado-a-fazer-reforma-em-sao-luis.ghtml>. Acesso em: 10 nov. 2025.

CERQUEIRA, M. F.; GONÇALVES, R.; LEITE, I. C. S. **Manifestações patológicas em concreto armado: estudo de caso — corrosão nas armaduras.** Projectus, v. 3, n. 1, p. 62–79, 2018.

DA SILVA, G. A. F.; BOTELHO, I. T.; DIAS, J. P.; FARAGE, M. C. R.; OLIVEIRA, T. M.; BONIFACIO, A. L. **Relação entre o índice esclerométrico e à resistência a compressão de concretos.** In: International Sodebras Congress, 37º, 2017, Fortaleza. Sodebras, v. 12, n. 141, 2017.

DE OLIVEIRA NASCIMENTO, L. M. et al. **Análise de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado: corrosão das armaduras.** 2021.

DE PAIVA, M. V.; FREITAS, M. V. P.; SOARES, C. E. **Uma revisão bibliográfica dos fatores de influência no ensaio esclerométrico.** Journal of Engineering and Exact Sciences, v. 7, n.1, p.12100–01–09e, 2021.

DO NASCIMENTO, F. B. C. **Corrosão em armaduras de concreto.** Caderno de Graduação — Ciências Exatas e Tecnológicas UNIT, v. 3, n. 1, p. 177–188, 2015.

DNIT. **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias.** Instituto de Pesquisa e Estudos Rodoviários – IPER/DNIT. 3ª Edição. Brasília: DNIT, 2020.

ERAT, Djuli et al. **Análise de patologias da construção civil.** Maiêutica-Engenharias, v. 2, n. 1, 2016.

FERREIRA, Angélica Rodrigues; DE OLIVEIRA, Ricardo Fonseca. **Patologias na construção civil: estudo de caso em duas residenciais na cidade de Iraí de Minas-MG**. Revista GeTeC, v. 10, n. 26, 2021.

GASPARETTO, A.; PANTOJA, J. C.; RAMIRES, F. B. **Metodologia para inspeção e avaliação da segurança e durabilidade de estruturas de concreto armado**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 1, p. 4942–4960, 2021.

GONZALES, F. D.; OLIVEIRA, D. L.; AMARANTE, M. S. **Patologias na construção civil**. Pesquisa e Ação, v. 6, n. 1, 2020.

IMIRANTE. **Pontes de São Luís apresentam problemas de infraestrutura**. São Luís, jan. 2019. Disponível em: <https://imirante.com/oestadoma/noticias/2019/01/16/pontes-de-sao-luis-apresentam-problemas-de-infraestrutura>. Acesso em: 10 nov. 2025.

KARI, O. P.; PUTTONEN, J.; SKANTZ, E. **Reactive transport modelling of long-term carbonation**. Cement and Concrete Composites, v. 52, p. 42–53, 2014.

LANZINHA, J.; CASTRO-GOMES, J. Teaching building pathology at the Civil Engineering Department of Beira Interior University. Coimbra: **World Congress on Housing**, 2002.

MACHADO, Ana Beatriz de Souza. **Análise de carbonatação em viga com armadura exposta: estudo de caso na fábrica do Ponto da Camisa**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) — Nome da Instituição, Cidade, 24 abr. 2024.

MAGALHÃES, L.F.; OLIVEIRA, C.A.M. **Análise e reparação de fissuras em estruturas de concreto armado e alvenaria**. 2017, 102p. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Tecnológico de Caratinga. Caratinga/MG, 2017.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2014.

MEIRA, G. R.; FERREIRA, P. R. **Revisão sobre ensaios acelerados para indução da corrosão desencadeada por cloretos em concreto armado**. Ambiente Construído, v. 19, n. 4, p. 223–248, 2019.

MEDEIROS, A. G. et al. **Aplicação de metodologias de inspeção em ponte de concreto armado**. Ambiente Construído, v. 20, n.3, p. 687–702, 2020.

NEGRI, Robison; STEIL, Tatiane Luiza; NEGRI, Douglas. **Ensaio não destrutivo de ultrassom e esclerometria para estimar a resistência à compressão do concreto**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 29, n. 2, p. e20240056, 2024.

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

OLIVARI, G. **Patologia em edificações**. São Paulo: Pini, 2003.

OLIVEIRA, Gustavo Martins Valamiel et al. **Análise de fissuras em alvenaria de colocação—Estudo de caso: UEMG—Unidade de João Monlevade**. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, v. 8, n. 12, pág. e368121617–e368121617, 2019.

PELLICER, E. et al. **Construção e Materiais de Construção: Carbonatação e durabilidade**. 2016.

PENNDOT. **Bridge Safety Inspection Manual**. . [S.l: s.n.], 2021.

PIRES, M. S. **Patologia em concreto armado: principais manifestações, causas e soluções**. Revista Contemporânea, v. 3, n. 12, p. 28394–28402, 2023.

PINHEIRO, G. D. C. **Mapeamento das manifestações patológicas da ponte General Osório**. localizada em Manoel Viana/RS. 2022.

REMENCHE, Igor Rossi. **Patologias em obras de arte especiais: estudo de caso em uma ponte na cidade de Curitiba (PR)**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

RESENDE, G. A. **Recuperação de estruturas de concreto armado: técnicas e materiais para prolongar a vida útil**. Belo Horizonte, 2018.

RAMOS, Matheus Oliveira. **Estudo da implantação de juntas de dilatação em pontes e viadutos**. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA), Palmas - TO, 2017.

SHELMAN, C. et al. **A importância dos ensaios não destrutivos para diagnóstico de corrosão nas estruturas de concreto armado**. CONPAR, Recife, 2017.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. Oficina de Textos, 2020.

TORGAL, F. P. et al. **Uma visão geral sobre a carbonatação do concreto no contexto da construção ecoeficiente**. Construction and Building Materials, v. 36, p. 141–150, 2012.

TOSETTO, Renan Dittrich. **Análise de viabilidade de ampliação de uma edificação comercial utilizando ensaios destrutivos e não destrutivos – estudo de caso**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) — Nome da Instituição, Cidade, 1 dez. 2017.

VASCONCELOS, F. O. **Análise das manifestações patológicas em pontes de concreto armado — estudo de caso**. TCC (Engenharia Civil) — Universidade Federal de Alagoas, 2018.