

Avaliação de manifestações patológicas na Ponte Rio do Carmo através da ferramenta GUT

Evaluation of pathological manifestations of Carmo River Bridge through matrix GUT

DOI:10.34117/bjdv6n11-344

Recebimento dos originais: 03/10/2020

Aceitação para publicação: 17/11/2020

Sara Roca Piazza

Engenheira Civil, pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Endereço: Rua Ismael Pereira da Silva, 1658, Bairro Capim Macio – Natal, Rio Grande do Norte,
CEP: 59082000
E-mail: sarapiazza@hotmail.com

Lorena Karla Soares Peixoto

Engenheira Civil, pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Endereço: Av. Desembargador Olavo Maia, 480, Bairro Alto do Sumaré – Mossoró, Rio Grande do
Norte, CEP: 59633700
E-mail: lorenakarla24@gmail.com

Francisco Rosendo Sobrinho

Mestre em Engenharia Civil, pela Universidade Federal do Ceará – UFC
Instituição: Centro Universitário Christus
Endereço: Av. Dom Luís, 911, Bairro Meireles – Fortaleza, Ceará, CEP: 60160-230
E-mail: frs_rosendo@hotmail.com

Eric Matheus Fernandes Bezerra

Mestre em Engenharia Civil, pela Universidade Federal do Ceará – UFC
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
Endereço: Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770, Bairro Pereiros – Pombal, Paraíba, CEP: 58840-000
E-mail: eric.mateus@professor.ufcg.edu.br

RESUMO

As obras de arte necessitam de atividades de inspeção e manutenção para a garantia de uma maior vida útil e de um desempenho estrutural/funcional satisfatório. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar o estado de durabilidade da Ponte sob o Rio do Carmo, localizada no km 36 da BR-110, entre o município de Mossoró e Areia Branca, no estado do Rio Grande do Norte, aplicando o Método da Matriz de Gravidade, Urgência e Tendência (GUT) nas manifestações patológicas identificadas. Para a obtenção de um diagnóstico mais acurado, além de uma inspeção visual, foram realizados ensaios não destrutivos *in loco* em alguns elementos constituintes da ponte, tais como: ensaio de carbonatação; potencial de íons cloreto; ensaio de ultrassom; ensaio de esclerometria. Diante dos resultados obtidos, pôde-se constatar a presença de diversas manifestações patológicas no objeto de estudo. Dessa maneira, foi possível classificar a Ponte em uma estrutura com um alto nível de deterioração, necessitando de um serviço de recuperação.

Palavras-chave: Patologia, concreto, durabilidade, pontes.

ABSTRACT

Artworks require inspection and maintenance activities to ensure longer life and satisfactory structural/functional performance. Given this, the present work aimed to evaluate the durability state of the Bridge under Rio do Carmo, located at km 36 of BR-110, between the municipality of Mossoró and Areia Branca, in the state of Rio Grande do Norte, applying Gravity, Urgency and Trend Matrix Method (GUT) in the identified pathological manifestations. In order to obtain a more accurate diagnosis, as well as a visual inspection, non-destructive on-site tests were performed on some constituent elements of the bridge, such as: carbonation test; chloride ion potential; ultrasound test; sclerometry test. Given the results obtained, it was possible to verify the presence of several pathological manifestations in the object of study. Thus, it was possible to classify the Bridge into a structure with a high level of deterioration, requiring a recovery service.

Keywords: Pathology, concrete, durability, bridges.

1 INTRODUÇÃO

Pontes de concreto são consideradas elementos estruturais fundamentais para que rodovias e ferrovias transponham obstáculos naturais ou artificiais, mantendo o fluxo contínuo de cargas e pessoas com menor trajeto (PINHO; BELLEI, 2007).

A maioria das pontes de rodovias federais brasileiras são de concreto armado e tem idade superior a 30 anos, sendo escassas as informações sobre seus materiais constituintes e suas características mecânicas. Muitas delas apresentam sinais perceptíveis de deterioração devido à exposição direta aos agentes agressivos do ambiente e às solicitações estruturais de distintas naturezas e magnitudes (MENDES, MOREIRA & PIMENTA, 2012).

Mesmo com o avanço no estudo das tecnologias utilizadas na construção civil, tem se tornado comum o surgimento de manifestações patológicas em pontes de concreto armado, comprometendo o desempenho, durabilidade e a funcionalidade da estrutura. Para que as manifestações patológicas existentes possam ser eliminadas ou reparadas, é de fundamental importância realizar um estudo detalhado de suas origens (NAZARIO; ZANCAN, 2011).

O recorrente aparecimento de manifestações patológicas em estruturas de pontes tem motivado muitas pesquisas, considerando os prejuízos causados, tanto pela necessidade de interdição como pelos altos custos dos serviços de recuperação (MEDEIROS, 2015).

É nesse contexto, portanto, que este estudo visa contribuir para o conhecimento e informar as condições em que a Ponte sob o Rio do Carmo se encontra atualmente, verificando as manifestações patológicas presentes por meio de inspeção visual, ensaios não destrutivos *in loco*, bem como a aplicação da metodologia GUT.

2 AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

2.1 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

As construções em geral requerem rapidez, segurança e durabilidade. Durabilidade a qual pode ser afetada por diversos fatores, como: carência de projeto bem detalhado, falhas nas etapas construtivas, falta de fiscalização nos processos de execução e dentre outros que podem originar as manifestações patológicas, comprometendo sua vida útil. Nesse contexto, a vida útil e a durabilidade estão associadas e implicam na necessidade do conhecimento das causas dessas deficiências estruturais.

De acordo com Helene (1992), a patologia na engenharia pode ser entendida como a área que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema. Além do diagnóstico, é também conveniente o conhecimento sobre as consequências que o problema causa no comportamento da estrutura, denominado de prognóstico.

Lourenço (2007) afirma que as manifestações patológicas verificadas em estruturas de concreto armado têm natureza variada e, quando não tratadas adequadamente, comprometem a funcionalidade da estrutura. Segundo Andrade e Silva (2005), existe uma diversidade de agentes naturais atuando sob o concreto armado que provocam o seu envelhecimento, ou seja, que diminuem o seu desempenho estético, funcional e estrutural.

As causas da deterioração do concreto podem ser mecânicas, físicas, químicas ou biológicas. Algumas das principais manifestações patológicas desencadeadas pela deterioração do concreto são: carbonatação, corrosão da armadura, desagregação, eflorescência, ninhos de concretagem e fissuras.

2.2 METODOLOGIAS DE INPEÇÃO

A avaliação de estruturas de concreto pode ser realizada através de diferentes técnicas para identificar e acompanhar as manifestações patológicas. As metodologias empregadas são de vital importância para a realização desta atividade, a fim de proporcionar mecanismos que permitam a caracterização das anomalias e a proposição de atividades preventivas. É importante ressaltar as diversas metodologias existentes, como por exemplo: a norma DNIT 010:2004, o ciclo PDCA, a análise FMEA, metodologia GDE/UnB, Matriz GUT, entre outros.

2.2.1 Metodologia da Matriz GUT

Uma das possíveis ferramentas que pode ser utilizada é a Matriz GUT (Gravidade x Urgência x Tendência), também conhecida como Matriz de Prioridades, a qual auxilia na priorização da resolução de problemas. Essa Matriz foi desenvolvida por dois especialistas em resoluções de questões

organizacionais, Charles H. Kepner e Benjamin B. Tregoe, na década de 1980. O método surgiu a partir da necessidade de resoluções de problemas complexos nas indústrias americanas e japonesas (KEPNER; TREGOE, 1981).

Segundo Meireles (2001), essa ferramenta é aplicável sempre que precisarmos priorizar as ações a serem tomadas, de forma ordenada de acordo com sua importância, pela sua gravidade, pela sua urgência e pela sua tendência de forma a, racionalmente, definir a sequência da realização de ações.

A principal vantagem de utilizar a metodologia GUT para fins de gerenciamento, de acordo com Periard (2011), é que o auxílio oferecido ao gestor possibilita uma avaliação quantitativa dos problemas que estão sendo avaliados, tornando possível a priorização das ações corretivas e preventivas para extermínio total ou parcial do problema.

Trata-se de uma ferramenta de montagem simples e de fácil aplicação, permitindo a alocação de recursos nos tópicos considerados mais importantes, contribuindo para a elaboração de um bom planejamento, além de poder se adequar em diversas áreas de estudo (SOTILLE, 2014).

Santos (2018) elaborou a Matriz GUT, com a pretensão de reduzir ao máximo a subjetividade na análise de dados, a qual tem por base as definições que seguem e estão descritas no Quadro 01.

Quadro 01 – Critérios adotados para elaboração da Matriz GUT

GRAVIDADE		
Relacionado à possíveis riscos ou prejuízos aos usuários, ao patrimônio ou meio.		
Extremamente grave	Risco de morte, risco de desabamento/colapso pontual ou generalizado, impacto irreversível com perda excessiva do desempenho e funcionalidade, comprometimento irreversível da vida útil do sistema causando dano grave à saúde dos usuários ou ao meio ambiente. Prejuízo financeiro muito alto.	5
Muito grave	Risco de ferimento aos usuários, danos reversíveis ao meio ambiente ou à ponte. Impacto recuperável com o comprometimento parcial do desempenho e funcionalidade (vida útil) do sistema que afeta parcialmente a saúde dos usuários ou ao meio ambiente. Prejuízo financeiro alto.	4
Grave	Risco à saúde dos usuários, desconfortos na utilização dos sistemas, deterioração passível de restauração/reparo, podendo provocar perda de funcionalidade. Prejuízo financeiro médio.	3
Pouco grave	Sem risco à integridade física dos usuários, sem risco ao meio ambiente, pequenos incômodos estéticos ou de utilização, pequenas substituições de componentes ou sistemas, reparos de manutenção planejada para recuperação ou prolongamento de vida útil. Prejuízo financeiro pequeno.	2
Sem gravidade	Nenhum risco à saúde, à integridade física dos usuários, ao meio ambiente ou à ponte. Mínima depreciação do patrimônio.	1
URGÊNCIA		
Prazo para intervenção/Tempo máximo para resolver uma situação.		
Emergência	Incidente em ocorrência, intervenção imediata passível de interdição da ponte. Prazo para intervenção: nenhum.	5
Grande urgência	Incidente prestes a ocorrer, intervenção urgente. Prazo para intervenção: urgente.	4
Média	Incidente previsto para breve, intervenção em curto prazo. Prazo para intervenção: o mais cedo possível.	3
Baixa	Indício de incidente futuro, intervenção programada. Prazo para intervenção: pode esperar um pouco.	2
Nenhuma	Incidente imprevisto, indicação de acompanhamento e manutenção programada. Prazo para intervenção: não tem pressa.	1
TENDÊNCIA		
Rumo.		
Extremamente grave	Progressão imediata. Vai piorar rapidamente, pode piorar inesperadamente.	5
Muito grave	Progressão em curto prazo. Vai piorar em pouco tempo.	4
Grave	Progressão em médio prazo. Vai piorar em médio prazo.	3
Pouco grave	Provável progressão em longo prazo. Vai piorar ao longo prazo.	2
Sem gravidade	Não vai progredir. Não vai piorar.	1

Fonte: Adaptado de Santos (2018).

2.3 APLICAÇÃO DA MATRIZ GUT EM UMA PONTE DE CONCRETO ARMADO

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram realizados estudos das manifestações patológicas existentes na Ponte sobre o Rio do Carmo em Mossoró-RN. Os procedimentos se basearam na realização de uma inspeção visual, ensaios não destrutivos *in loco*, sem comprometer a segurança da estrutura, e na aplicação da matriz GUT como método de avaliação.

A Ponte sobre o Rio do Carmo possui 90 metros de extensão, localizada no km 36 da BR-110, entre o município de Mossoró e Areia Branca, no estado do Rio Grande do Norte (Figura 01). A mesma foi construída no fim da década de 70, em região de elevada classe de agressividade ambiental.

Figura 01 – Vista panorâmica da Ponte sobre o Rio do Carmo



Fonte: Autoria própria (2019).

De início, foi executada uma inspeção visual de caráter prévio com o intuito de identificar as manifestações patológicas presentes na estrutura da ponte, através de registros fotográficos. A Figura 02 ilustra de maneira mais detalhada os elementos estruturais a serem estudados, com a realização de ensaios não destrutivos a fim de obter um maior respaldo das condições atuais da ponte.

Figura 02 – Representação dos elementos estruturais ensaiados

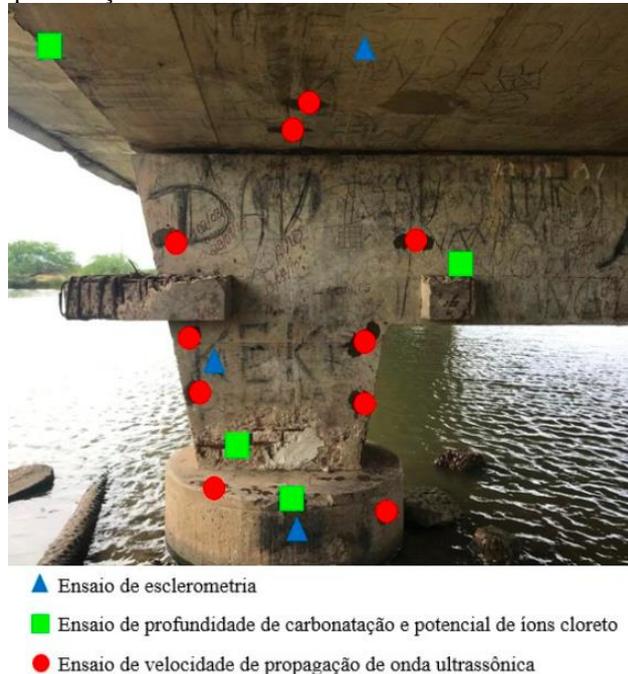


Fonte: Autoria própria (2019).

Foram realizados ensaios experimentais *in loco*, de natureza não destrutiva, os quais foram selecionados em função da disponibilidade de aparelhos e das características a serem estudadas. Os ensaios selecionados para o presente estudo foram: carbonatação, potencial de íons cloreto, ultrassom e esclerometria.

A escolha dos elementos estruturais a serem avaliados experimentalmente se deu basicamente pelo quesito acesso, uma vez que os outros elementos estavam localizados em uma área onde se fazia presente o fluxo do Rio do Carmo. A Figura 03 destaca a localização onde cada ensaio foi realizado.

Figura 1 – Representação ilustrativa onde os ensaios não destrutivos foram realizados



Fonte: Autoria própria (2019).

2.3.1 Ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica

O ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica é padronizado pela norma ABNT NBR 8802:2019, a qual afirma que este ensaio consiste na avaliação de velocidade de propagação de ondas, obtidas por pulsos ultrassônicos, através de dois pontos estabelecidos. O aparelho de ultrassom é responsável por fornecer o tempo em que o pulso leva de um ponto ao outro, a distância entre os dois pontos e, a partir disso, a velocidade da onda é obtida.

Para a leitura do ultrassom é importante decidir a distância entre os transdutores e a sua posição, essa última podendo ser de forma direta, semi-direta ou indireta. No bloco de coroamento a medição foi indireta e na viga de contraventamento, semi-direta, ambos ilustrados na Figura 04. Já a Figura 05 ilustra as medições realizadas na laje e no pilar, sendo elas indireta e semi-direta, respectivamente.

Figura 04 – Medição indireta do bloco de coroamento (a); medição semi-direta do bloco de coroamento (b); medição indireta da viga de contraventamento (c) e medição semi-direta da viga de contraventamento (d)



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 2 – Medição indireta da laje (a) e medição semi-direta do pilar (b)



Fonte: Autoria própria (2019).

Para todas as medições, foram utilizados valores fixos da frequência de transmissão/recepção (f) e da tensão de excitação (V). Um resumo deste ensaio é apresentado na Tabela 01.

Tabela 01 – Resumo do ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica

Valores fixos:	Frequência (f): Tensão de excitação (V):	f = 54kHz V= 350 V
Elemento estrutural	Tipo de medição	Quantidade de ensaios
Bloco de coroamento	Indireta	1
	Semi-direta	1
Laje	Indireta	2
Pilar	Semi-direta	4
Viga	Indireta	1
	Semi-direta	1
Total		10

Fonte: Autoria própria (2019).

A partir das velocidades de propagação da onda ultrassônica pôde-se avaliar a qualidade e homogeneidade do concreto, utilizando o critério exposto no Quadro 02.

Quadro 02 – Critério utilizado para a avaliação da qualidade do concreto

Velocidade de propagação linear (m/s)	Qualidade do concreto
$V > 4500$	Excelente
$3500 < V < 4500$	Ótimo
$3000 < V < 3500$	Bom
$2000 < V < 3000$	Regular
$V < 2000$	Ruim

Fonte: Adaptado de Cánovas (1988).

2.3.2 Ensaio de esclerometria

De acordo com a norma ABNT NBR 7584:2012, o ensaio de esclerometria mede a dureza superficial do concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido. O instrumento utilizado neste ensaio é chamado de esclerômetro de reflexão, o qual consiste em uma massa-martelo que, impulsionada por uma mola, choca-se com a área a ser ensaiada e registra um valor numérico, chamado de índice de reflexão. Segundo Sahuinco (2011), é possível correlacionar o índice de reflexão com a resistência a compressão do concreto por meio de tabelas e curvas fornecidas pelos fabricantes, para a obtenção da resistência do concreto.

Para realização do ensaio, deve-se delimitar a área onde será desenhada a malha em que o esclerômetro vai ser aplicado. Cada malha possui uma área de 300 cm², sendo demarcados 12 pontos de aplicação com uma distância de 5 cm entre os eixos de cada ponto. A Figura 06 ilustra o esclerômetro sendo aplicado horizontalmente no pilar e verticalmente na laje.

Figura 06 – Esclerômetro sendo aplicado no pilar e na laje, respectivamente



Fonte: Autoria própria (2019).

Após realizar as leituras do esclerômetro em cada malha, foi calculada a média aritmética destes valores e desprezados, caso necessário, os valores afastados em mais de 10% da média obtida. Em seguida, foi calculado o índice esclerométrico médio efetivo e, com o auxílio da curva padrão do fabricante, determinou-se resistência característica a compressão do concreto (f_{ck}).

2.3.3 Ensaio de profundidade de carbonatação

Para o ensaio de profundidade de carbonatação foram seguidas as recomendações da RILEM CPC-18 (1988). Este ensaio consiste basicamente em utilizar um borrifador para molhar a superfície do concreto com uma solução química de fenolftaleína, diluída em 1% de álcool etílico.

As áreas de ensaio dos elementos avaliados foram as que estavam mais expostas ao meio ambiente e cujo grau de exposição era o mais elevado. A Tabela 02 descreve as áreas selecionadas para a realização do presente ensaio.

Tabela 02 – Resumo do ensaio de profundidade de carbonatação

Elemento estrutural	Condição de exposição	Local de aspersão da fenolftaleína	Tamanho da malha (cm)
Bloco de coroamento	Variável entre seca e úmida	Superfície do concreto	10x10
Laje	Seca	Concreto deteriorado com armadura exposta	30x15
Pilar	Seca	Concreto deteriorado com armadura exposta	30x15

Fonte: Autoria própria (2019).

De acordo com Andrade (1992), a carbonatação é verificada pela coloração do concreto: incolor em região com pH inferior a 8,3; vermelho-carmim em região com pH superior a 9,5 e rosa a vermelho-carmim em região com pH entre 8,0 e 9,5. Em síntese, uma região incolor significa que é uma região carbonatada.

As medições da frente de carbonatação (região incolor) foram realizadas com o auxílio de um paquímetro digital graduado em milímetro após 10 minutos da aspersão da fenolftaleína nos elementos estruturais a serem avaliados. Por fim, após a realização de todas as medições, foi calculada a estimativa do coeficiente de carbonatação conforme o modelo de Tuutti, apresentado em 1982. De acordo com Carmona (2005), este modelo parte da interpretação da lei de Fick e estabelece uma relação entre o nível de degradação devido à corrosão das armaduras e o tempo.

2.3.4 Ensaio de potencial de íons cloreto

Este ensaio é responsável pela determinação da profundidade da frente de penetração de íons cloreto presentes no concreto. A superfície do concreto é molhada com uma solução de nitrato de prata,

ocorrendo uma reação fotoquímica. Esta reação provoca uma mudança de coloração da solução, o que serve como um critério adotado para avaliação de cloretos livres e combinados, de acordo com a norma italiana UNI 7928:1978. Caso a coloração da superfície de ensaio seja branca, significa que há presença de cloretos livres, caso seja marrom, há ausência dos mesmos.

Após 10 minutos de aspersão do nitrato de prata nos elementos estruturais a serem avaliados, foram realizadas as medições com o auxílio de um paquímetro digital graduado em milímetro.

2.3.5 Metodologia da Matriz GUT

Anteriormente à aplicação do método GUT, as manifestações patológicas foram divididas em grupos: corrosão de armaduras, desagregação do concreto, manchas, eflorescência e fissuras. Cada grupo representa o tipo de manifestação patológica observada durante a inspeção visual *in loco*. Uma vez que são as mesmas manifestações apresentadas nos diversos elementos estruturais, procedeu-se uma divisão em subgrupos, de acordo com a localização da anomalia. Esses dados foram preenchidos na Tabela 03, a qual possibilitou uma melhor visualização das informações obtidas.

Tabela 03 – Modelo de Tabela da Matriz GUT

Manifestação Patológica		G	U	T	GUT	Grau de priorização	
Grupo	Subgrupo						
Corrosão de armadura	Infraestrutura	X	X	X	X	X	
	Mesoestrutura	Bloco de coroamento	X	X	X	X	X
		Pilar	X	X	X	X	X
	Superestrutura	Viga	X	X	X	X	X
	Laje	X	X	X	X	X	

Fonte: Autoria própria (2019).

3 RESULTADOS

3.1 LEVANTAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ENCONTRADAS NA PONTE

Durante a inspeção visual *in loco* da ponte, foi realizado um levantamento das manifestações patológicas encontradas nas partes que compõem sua estrutura (infraestrutura, mesoestrutruua e superestrutura).

No bloco de coroamento, localizado na infraestrutura, foi observado fissuras e possíveis falhas de concretagem, ambas ilustradas na Figura 08. Também notou-se a presença de eflorescências e uma significativa desagregação do concreto, além de manchas escuras, estas sendo consideradas manchas de umidade ocasionadas pela ascensão da água.

Figura 08 – Manifestações patológicas presentes no bloco de coroamento



Fonte: Autoria própria (2019).

Na mesoestrutura, foram analisados os pilares e as vigas de contraventamento, os quais são considerados os aparelhos de apoio da estrutura. Na Figura 09 destaca-se uma seção do pilar em estado crítico de conservação, apresentando armaduras expostas e corroídas, desagregação de concreto e fissuras. Porém, o alto grau de deterioração só foi notado na parte inferior e mais externa da seção, já nas outras partes do pilar o concreto se apresentava em boas condições, sem indícios de manifestações patológicas.

Figura 09 – Manifestações patológicas presentes no pilar



Fonte: Autoria própria (2019).

De forma geral, as vigas de contraventamento apresentaram, aparentemente, um bom estado de conservação, como mostrada na Figura 10. Constatou-se apenas algumas manifestações patológicas como falhas de concretagem, baixa incidência de manchas e pequenas fissuras.

Figura 103 – Viga em bom estado de conservação



Fonte: Autorial própria (2019).

Na superestrutura da ponte, onde são localizadas as lajes, foram encontradas as manifestações patológicas supracitadas. Na Figura 11 é possível visualizar a laje superior apresentando manchas de umidade, eflorescências com formação de estalactites, deslocamento e desagregação de concreto.

Figura 11 – Manifestações patológicas presentes na laje superior



Fonte: Autorial própria (2019).

Na laje inferior foram encontradas anomalias semelhantes às encontradas na laje superior, como manchas, eflorescências, deslocamento e desagregação do concreto, porém em condições mais precárias, como pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 – Manifestações patológicas presentes na laje inferior



Fonte: Autoria própria (2019).

3.2 ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

A Tabela 04 apresenta os resultados obtidos após a realização do ensaio de esclerometria, descrito no item 2.3.2, em termos de índice esclerométrico médio, índice esclerométrico médio efetivo e, a partir disso, os valores foram analisados estatisticamente através de desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 04 – Resultados obtidos quanto à realização do ensaio de esclerometria

Elemento estrutural	Índice esclerométrico médio (MPa)	Índice esclerométrico médio efetivo (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
Bloco de coroamento	29,25	29,83	1,17	4,01
Laje	45,73	46,64	3,71	8,11

Fonte: Autoria própria (2019).

Como pode ser analisado na Tabela 04, os índices esclerométricos médio efetivos do bloco de coroamento e da laje foram de 29,83 MPa e 46,64 MPa, resultando em uma resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) de 26 MPa e 46 MPa, respectivamente.

Em relação ao pilar, não foi possível obter os resultados da resistência, pois os índices esclerométricos foram muito diferentes ao longo da seção e, de acordo com a norma NBR 7584:2012, se faz necessário ter no mínimo cinco valores dentro da média real.

Em termos da resistência à compressão do concreto, verificou-se que os valores foram superiores ao determinado no projeto estrutural da obra, o qual exigia um f_{ck} do concreto de, no mínimo 25 MPa, o que indica uma boa resistência do concreto em questão.

No âmbito do coeficiente de variação, de acordo com a norma britânica BS 1881: Part 202 (1986), geralmente os concretos apresentam o coeficiente de variação de 10%. Os valores obtidos com

o ensaio foram de 4,01% e 8,11%, vale ressaltar que a norma comenta que o coeficiente de variação diminui com o aumento da resistência do concreto, ou seja, o concreto pode ser considerado homogêneo e de boa qualidade.

3.3 ENSAIO DE PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

É importante considerar que neste ensaio não foi permitido extrair uma pequena camada de revestimento da superfície do elemento. Em consequência disso, o ensaio foi realizado em locais cuja armadura estava exposta há muito tempo, não sendo possível a medição da frente de carbonatação.

Assim sendo, permite-se considerar que os elementos estruturais estão carbonatados, uma vez que não apresentaram mudanças de cor no concreto após borrifar a fenolftaleína.

3.4 ENSAIO DE POTENCIAL DE ÍONS CLORETO

A Tabela 05 apresenta os resultados obtidos após a realização deste ensaio, contendo os elementos estudados, a coloração apresentada e as verificações das três profundidades de íons cloreto em cada uma das peças estruturais.

Tabela 05 – Resultados obtidos quanto à realização do ensaio de esclerometria

Elemento estrutural	Coloração da superfície de ensaio	Tamanho da malha (mm)	Profundidade de íons cloreto (mm)
Bloco de coroamento	Branca	50x100	14,11
			18,53
			27,21
Laje	Branca	100x100	2,44
			6,73
			8,07
Pilar	Branca	100x100	4,89
			8,32
			13,42

Fonte: Autoria própria (2019).

Conforme os resultados apresentados na Tabela 05, na Ponte em estudo verificou-se um precipitado branco em todas as peças ensaiadas, indicando a presença de cloretos livres no concreto. Nota-se ainda que os maiores valores de profundidade de íons cloreto foram observados no bloco de coroamento: 14,11, 18,53 e 27,21 milímetros.

Diante do exposto, é importante destacar o fato de ser um elemento estrutural localizado em um ambiente com alta taxa de salinidade e contato direto com o Rio do Carmo, justificando os valores mais acentuados de teor de cloretos na superfície da estrutura.

3.5 ENSAIO DE VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRASSÔNICA

O ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica foi realizado nos seguintes elementos estruturais: bloco de coroamento, laje, pilar e viga. Na Tabela 06 encontram-se os resultados obtidos.

Tabela 06 – Resultados obtidos quanto à realização do ensaio de ultrassom

Elemento estrutural	Tipo de medição	Tempo (µs)	Velocidade (m/s)	Velocidade média (m/s)
Bloco de coroamento	Indireta	57,00	3508	3971,00
	Semi-direta	26,90	4434	
Laje	Indireta	44,50	3906	3700,00
		51,20	3494	
Pilar	Semi-direta	39,50	4733	3919,25
		96,50	2072	
		22,90	5063	
		52,50	3809	
Viga	Indireta	62,60	3210	3494,50
	Semi-direta	29,50	3779	

Fonte: Autoria própria (2019).

Diante dos resultados obtidos e analisando a qualidade do concreto de acordo com o critério de avaliação, disposto no Quadro 02 do item 2.3.1, constata-se que, de modo geral, o concreto da Ponte pode ser considerado de ótima qualidade.

Porém, este resultado pode ser considerado questionável, devido à maneira em que foram realizadas as leituras (forma indireta e semi-direta). Embora no manual do aparelho esteja assegurando a transmissão máxima do sinal entre os transdutores e uma maior acurácia no caso de medição direta.

3.6 MATRIZ GUT

A Tabela 07 apresenta a divisão das manifestações patológicas encontradas na Ponte e suas respectivas localidades, além dos valores dos parâmetros GUT adotados de acordo com o que foi descrito no Quadro 01 do item 2.2.1, bem como a pontuação final e o grau de priorização. Nas situações em que algumas manifestações patológicas obtiveram o mesmo número GUT, o critério adotado para indicar a priorização foi em relação ao grau de acentuação da manifestação patológica presente, como também sua influência no risco de segurança da Ponte.

Tabela 07 – Resultados obtidos quanto à aplicação do método GUT

Manifestação Patológica		G	U	T	GUT	Grau de priorização	
Grupo	Subgrupo						
Corrosão de armadura	Infraestrutura	Bloco de coroamento	1	1	2	2	16°
	Mesoestrutura	Pilar	3	3	3	27	2°
		Viga	2	3	3	18	5°
	Superestrutura	Laje	4	4	4	64	1°

Desagregação do concreto	Infraestrutura	Bloco de coroamento	2	2	3	12	9°
	Mesoestrutura	Pilar	2	2	3	12	8°
		Viga	1	2	3	6	14°
Superestrutura	Laje	3	3	3	27	3°	
Eflorescência	Infraestrutura	Bloco de coroamento	3	2	2	12	12°
	Mesoestrutura	Pilar	1	1	2	2	17°
		Viga	1	1	2	2	19°
Superestrutura	Laje	4	2	2	16	7°	
Manchas	Infraestrutura	Bloco de coroamento	2	2	3	12	11°
	Mesoestrutura	Pilar	1	1	2	2	18°
		Viga	1	1	2	2	20°
Superestrutura	Laje	3	2	3	18	6°	
Trincas e fissuras	Infraestrutura	Bloco de coroamento	2	2	2	8	13°
	Mesoestrutura	Pilar	3	3	3	27	4°
		Viga	1	2	2	4	15°
Superestrutura	Laje	2	3	2	12	10°	

Fonte: Autoria Própria (2019).

Analisando a Tabela 07, dos elementos estruturais constituintes da Ponte, o que apresenta a maior pontuação GUT é a laje, com pontuação 64, o que indica uma maior necessidade de reparo neste elemento. O resultado é coerente com o que foi visto durante a inspeção visual *in loco*, uma vez que as lajes apresentaram corrosões acentuadas nas armaduras, bem como a perda relevante de seção, causando um comprometimento parcial da vida útil da mesma e um prejuízo financeiro elevado.

Enquanto que a mesoestrutura (pilar e viga) obteve um baixo número GUT, revelando que o reparo destas peças pode ser postergado em relação aos outros elementos. Isto se deve às pequenas manifestações patológicas presentes e com baixa relevância, quando comparadas às demais.

Em virtude disto, é importante ressaltar a pesquisa realizada por Medeiros (2015), a qual avaliou o mesmo objeto de estudo, porém utilizando uma metodologia diferente: GDE/UnB. Dentre os elementos analisados pôde-se constatar que a laje era a mais agravada e, por conseguinte, apresentou uma classificação de deterioração em nível crítico. Em contrapartida, verificou-se que a mesoestrutura se encontrava em bom estado de conservação.

4 CONCLUSÃO

De acordo com o estudo realizado na Ponte sobre o Rio do Carmo, a fim de avaliar as manifestações patológicas existentes, observou-se que:

- Foi possível identificar diversas manifestações patológicas em todos os elementos constituintes, dentre elas vale salientar a incidência de: corrosão de armadura; desagregação do concreto;

eflorescência; manchas; fissuras. Em alguns casos, as manifestações foram mais protuberantes, como na superestrutura.

- Os ensaios não destrutivos realizados contribuíram para a obtenção de um diagnóstico mais acurado, possibilitando classificar a Ponte em uma estrutura com um alto nível de deterioração, necessitando de um serviço de recuperação. No entanto, vale destacar que aparentemente não há indícios de instabilidade da estrutura.
- Em relação a metodologia GUT, pôde-se constatar a sua aplicabilidade, sendo possível atribuir uma ordem de prioridade de resolução das manifestações patológicas presentes. Ressalva-se que a aplicação deste método revelou ser de grande utilidade para a otimização do processo de manutenção da estrutura, permitindo o direcionamento de recursos para aspectos importantes, evitando custos com reparos irrisórios.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo: PINI, 1992.

ANDRADE, T.; SILVA, A.J.C. **Patologia das Estruturas**. In: ISAÍÁ, G.C. *Concreto: ensino, pesquisa e realizações* – São Paulo: IBRACON, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7584**: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio. 2 ed. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8802**: Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2019.

BRITISH STANDARD. **BS 1881**: Part 202. Testing concrete: Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer. British Standards Institution. London, 1986.

CARMONA, T. G. **Modelos de previsão da despassivação das armaduras em estruturas de concreto sujeitas à carbonatação**. 2005. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido** – procedimento. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. DNIT-010/2004. Rio de Janeiro, 2004.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

KEPNER, C.H.; TREGOE, B.B. **O administrador racional**. São Paulo: Atlas, 1981.

LOURENÇO, L.C. **Análise de corrosão em estruturas de pontes metálicas e de concreto armado**. 2007. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico – UFF, Niterói, 2007.

MEDEIROS, A.G. **Análise de durabilidade da Ponte do Rio do Carmo utilizando ensaios não destrutivos, norma DNIT e a metodologia GDE/UNB**. 2015. 165 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, 2015.

MEIRELES, M. **Ferramentas Administrativas para Identificar, Observar e Analisar Problemas**. São Paulo: Art & Ciência, 2001.

MENDES, P.T.C., MOREIRA, M. L. T., & PIMENTA, P.M. **Pontes de concreto armado: efeitos da corrosão e da variação do módulo de elasticidade do concreto**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, vol.5, n.3. São Paulo, 2012.

NAZARIO, Daniel; ZANCAN, Evelise C. **Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal e Criciúma: Inspeção dos sete postos de saúde**. Santa Catarina, 2011.

PERIARD, G. **Matriz GUT - Guia completo**. 2011. Disponível em:
<<http://www.sobreadministracao.com/matriz-gut-guia-completo/>>. Acesso em: 08 jun. 2019.

PINHO, F. O., BELLEI, I. H. **Pontes e viadutos em vigas mistas**. 1ª ed. Rio de Janeiro, IBS/CBCA, 2007

RILEM CPC-18. **Measurement of hardened concrete carbonation depth**. Rilem Technical Committees, 1988.

SAHUINCO, M. H. C. **Utilização de métodos não destrutivos e semi destrutivos na avaliação de pontes de concreto**. 2011. 170 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2011.

SOTILLE, M. A. **A ferramenta GUT – Gravidade, Urgência e Tendência**. PM Tech Capacitação e Projetos. 2014. Disponível em:
< <https://www.pmtech.com.br/PMP/Dicas%20PMP%20-%20Matriz%20GUT.pdf>>. Acesso em: 08 jun. 2019.

UNI 7928. **Determination of chloride ion penetration**. Italian Standard 7928. Roma, 1978