



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS – CMPF
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

VICTOR EZEQUIEL LEITE DEDES

**ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA PONTE DO RIO
APODI, LOCALIZADA NA BR 226 EM PAU DOS FERROS/RN: APLICAÇÃO
DA METODOLOGIA GDE/UNB E ENSAIOS *IN SITU*.**

PAU DOS FERROS

2020

VICTOR EZEQUIEL LEITE DEDES

**ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA PONTE DO RIO
APODI, LOCALIZADA NA BR 226 EM PAU DOS FERROS/RN: APLICAÇÃO
DA METODOLOGIA GDE/UNB E ENSAIOS *IN SITU*.**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof(a). M^a. Renata Jully Nunes
Xavier

Coorientador: Prof. Dr. Matheus Fernandes de
Araujo Silva

PAU DOS FERROS

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

D299a Dedes, Victor Ezequiel Leite.
Análise das manifestações patológicas na ponte do Rio Apodi, localizada na BR-226 em Pau dos Ferros/RN: aplicação da metodologia GDE/UnB e ensaios in situ. / Victor Ezequiel Leite Dedes. - 2020.
70 f. : il.

Orientadora: Renata Jully Nunes Xavier.
Coorientador: Matheus Fernandes de Araujo Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de , 2020.

1. Engenharia Civil. 2. Concreto Armado. 3. Obra de Arte Especial. 4. Inspeção Visual. I. Xavier, Renata Jully Nunes, orient. II. Silva, Matheus Fernandes de Araujo, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

VICTOR EZEQUIEL LEITE DEDES

**ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA PONTE DO RIO APODI,
LOCALIZADA NA BR 226 EM PAU DOS FERROS/RN: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA
GDE/UNB E ENSAIOS *IN SITU*.**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semiárido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Defendida em: 04 / 02 / 2020.

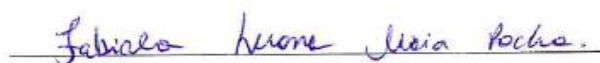
BANCA EXAMINADORA



Prof.^a M^a. Renata Jully Nunes Xavier
Presidente



Prof. Dr. Matheus Fernandes de Araujo Silva
Coorientador



Prof.^a Esp. Fabíola Luana Maia Rocha
Membro Examinador

A **Claudionor de Souza Dedes**, meu pai, que tanto lutou para proporcionar uma melhor qualidade de vida aos filhos, és um exemplo de pai.

A **Mariza Betânia Leite Furtado**, minha mãe, que tanto dedicou amor e atenção aos filhos, e sempre procurou ajudar no que fosse possível.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço ao Pai Celestial por ter me concebido a coragem, perseverança e força para concluir este trabalho.

Agradeço a meus familiares especialmente aos meus pais, Claudionor de Souza Dedes e Mariza Betânia Leite Furtado, e avós, Francisca de Souza Dedes, Francisco Clodovaldo Dedes e Francisco das Chagas Furtado pelo incentivo, apoio emocional e financeiro durante esses anos de graduação.

Agradeço a minha orientadora, a professora Renata Jully Nunes Xavier pela agilidade e pelo conhecimento transmitido, fatores essenciais para a elaboração dessa monografia, bem como pelo auxílio, que sem o qual seria mais difícil a execução deste trabalho.

Agradeço a meu coorientador e amigo, o professor Matheus Fernandes de Araujo Silva, pela prontidão, comprometimento e profissionalismo na confecção deste trabalho, e pela confiança em mim depositada.

Agradeço a meus amigos com quem morei por quase 3 anos, Andtalys Lauriano, Mozar Leite, Ravi Linhares, João Carlos Leite, Ávilo Leite, Felipe Lira, Wesley Olegário e Samuel Martins. Irmãos que compartilhei alegrias e tristezas, que aprendi a ser uma pessoa mais paciente e amável com eles. Tenho a certeza que posso contar com qualquer um e em qualquer momento, e levarei todos para sempre no meu coração.

Aos meus amigos e irmãos da faculdade com quem tenho um enorme carinho e apreço, Waleskha Benevenuto, Isis Costa, Orlando Gondim, Simone Gameleira, Wanderson Carvalho, Valeska Jordanna, Robson Thiago, Kairo Ribeiro, Álvaro Felipe, Cleto Rodrigues, Gabriel Nogueira, Renê Sá, Raito de Né, Carina Maia, Pedro David, Edvar Junior, Bruno Sousa, Kennia Nunes, Mariana Lopes, Liana Rocha, Bruna Fernandes, Lara Melo, Maria Jamilly, Mirtes Nunes e Cleonice Maia. São amigos para todas as horas, foram fundamentais na minha formação acadêmica e adaptação a cidade.

Ao Grupo de Oração Universitária – GOU, e a Célula Escape por ter me acolhido nos momentos mais difíceis durante essa jornada, possibilitando mais aprendizado sobre a palavra de Deus e, me proporcionando a oportunidade de conhecer novos amigos.

E por fim, agradeço a Ordem Demolay, por ter ajudado na formação do meu caráter, por ter transmitido conhecimento filosófico, ajudando a ver a vida com bons olhos, e pela oportunidade de conhecer muitos amigos.

MUITO OBRIGADO!!

“A persistência é o menor caminho do
êxito”.

Charles Chaplin

RESUMO

O transporte rodoviário é o modal mais utilizado e conhecido em todo território brasileiro e, conseqüentemente, a busca pela melhoria deste torna-se necessária, visando fornecer melhores acessos para os usuários que utilizam esse modal. A topografia brasileira em alguns casos dificulta a instalação de uma via rodoviária, como por exemplo vales, lagos, rios, depressões, entre outros. Fazendo-se imprescindível a construção e manutenção de uma Obra de Arte Especial (OAE). A maioria dos casos não é dada a devida importância aos trabalhos de manutenção, facilitando o surgimento de patologias e, conseqüentemente, gerando a deterioração da estrutura. Neste sentido, este trabalho busca avaliar as condições de durabilidade da Ponte Rio Apodi-Mossoró na BR-226, localizada na cidade de Pau dos Ferros/RN. Para isto, foram realizados vistorias e ensaios não destrutivos de profundidade de carbonatação e esclerometria em elementos estruturais da OAE em estudo. Para o ensaio de profundidade de carbonatação, obteve-se medidas de aproximadamente 15 milímetros, profundidade máxima escarificada a fim de preservar a peça estrutural ensaiada. O ensaio de esclerometria mostrou que os elementos centrais da ponte possuem uma resistência menor com relação aos elementos das extremidades, devido a condição de desagregação de sua superfície. Por fim, a partir da metodologia de inspeção GDE/UnB foi possível obter uma maior precisão do grau de deterioração dos elementos que compõem a ponte, bem como o nível de desgaste da mesma como um todo, obtendo um grau de deterioração global da estrutura (G_d) igual a 84,32 classificando-a em um nível sofrível.

Palavras-chave: Engenharia Civil. Concreto armado. Obra de Arte Especial. Inspeção visual. Ensaios *in loco*.

ABSTRACT

Road transport is the most used and well-known modal throughout the Brazilian territory and, consequently, the search for its improvement is necessary, aiming to provide better access for users who use this modal. The Brazilian topography in some cases makes it difficult to install a road, such as valleys, lakes, rivers, depressions, among others. Making the construction and maintenance of a Special Work of Art essential (OAE). Most cases are not given due importance to maintenance work, facilitating the appearance of pathologies and, consequently, causing the deterioration of the structure. In this sense, this work seeks to evaluate the durability conditions of the Rio Apodi-Mossoró Bridge on BR-226, located in the city of Pau dos Ferros / RN. For this, surveys and non-destructive tests of carbonation depth and sclerometry were carried out on structural elements of the OAE under study. For the carbonation depth test, measurements of approximately 15 mm, maximum scarified depth were obtained in order to preserve the tested structural part. The sclerometry test showed that the central elements of the bridge have a lower resistance in relation to the elements of the extremities, due to the disintegration condition of its surface. Finally, from the GDE / UnB inspection methodology, it was possible to obtain a greater precision of the degree of deterioration of the elements that make up the bridge, as well as the level of wear of the bridge as a whole, obtaining a degree of overall deterioration of the structure (Gd) equal to 84.32, classifying it at a poor level.

Key words: Civil Engineering. Reinforced concrete. Special Work of Art. Visual inspection. On-site tests.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: SUBDIVISÕES DE UMA PONTE.	3
FIGURA 2: PONTE EM LAJE.	4
FIGURA 3: PONTE EM VIGA.	4
FIGURA 4: PONTE EM PÓRTICO.	5
FIGURA 5: PONTE EM ARCO.	5
FIGURA 6: PONTE EM PÊNSEIS.	6
FIGURA 7: PONTE ATIRANTADA.	6
FIGURA 8: CONSTRUÇÃO EM BALANÇOS SUCESSIVOS.	7
FIGURA 9: CONSTRUÇÃO EM SEGMENTOS OU ADUELAS.	7
FIGURA 10: LOCALIZAÇÃO DA PONTE.	11
FIGURA 11: FASE CONSTRUTIVA DA PONTE.	12
FIGURA 12: FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA DE PESQUISA.	13
FIGURA 13: ABERTURA DAS JANELAS PARA O ENSAIO DE CARBONATAÇÃO.	15
FIGURA 14: MALHA DE 5X10 CENTÍMETROS, APLICADO A SOLUÇÃO DE FENOLFTALEÍNA 1% .	16
FIGURA 15: ESCLERÔMETRO UTILIZADO NOS ENSAIOS.	17
FIGURA 16: MALHA DE 20X20 CENTÍMETROS, SUBDIVIDIDA EM 16 PARTIÇÕES IGUAIS.	17
FIGURA 17: FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA GDE/UNB ADAPTADA.	18
FIGURA 18: ESTADO EM QUE A PONTE SE ENCONTRA.	26
FIGURA 19: DESAGREGAÇÃO DO CONCRETO EXPONDO A ARMADURA DO BLOCO DE COROAMENTO.	27
FIGURA 20 - DESAGREGAÇÃO DO PILAR P6.	29
FIGURA 21: ÁBACO I.E X RESISTENCIA (MPA).	30
FIGURA 22: FRENTE CARBONATADA.	31
FIGURA 23: COBRIMENTO DEFICIENTE, DE APROXIMADAMENTE 1 CM.	32
FIGURA 24: SINAIS DE DESGASTE NA PARTE INFERIOR DA VIGA.	33
FIGURA 25: SINAIS DE DESPRENDIMENTO NO GUARDA-CORPOS.	34
FIGURA 26: FLECHAS NAS PLACAS QUE COMPÕEM AS LAJES.	34
FIGURA 27: PROFUNDIDADE DE UMA CRATERA NA PISTA DE ROLAMENTO (10 CM).	35
FIGURA 28: DESCONTINUIDADE DA PISTA DE ROLAMENTO (DANO EXPRESSIVO).	36
FIGURA 29: DESGASTE SUPERFICIAL DA PISTA DE ROLAMENTO.	37

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: QUANTIDADE DE ELEMENTOS ENSAIADOS.	14
TABELA 2: FATORES DE RELEVÂNCIA ESTRUTURAL – ADAPTADA.....	20
TABELA 3: MODELO DE FICHA DE INSPEÇÃO – ADAPTADA.	20
TABELA 4: CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE DETERIORAÇÃO DO ELEMENTO – ADAPTADA.	22
TABELA 5: CLASSIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE DETERIORAÇÃO DA ESTRUTURA – ADAPTADA.	24
TABELA 6: ELEMENTOS NÃO ANALISADOS E POR QUE NÃO FORAM ANALISADOS.	25
TABELA 7: ENSAIO ESCLEROMETRICO.	28
TABELA 8: VALORES DA RESISTÊNCIA SUPERFICIAL, EM MPA.....	30
TABELA 9: COEFICIENTES DE CARBONATAÇÃO.....	32
TABELA 10: GRAU DE DETERIORAÇÃO DOS ELEMENTOS.	33
TABELA 11: GRAU DE DETERIORAÇÃO GLOBAL SEGUNDO A IDEALIZAÇÃO DE CASTRO (1994)	36
TABELA 12: GRAU DE DETERIORAÇÃO GLOBAL SEGUNDO A IDEALIZAÇÃO DE VERLY (2015)..	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
D	Grau do dano
F_i	Fator de intensidade do dano
F_p	Fator de ponderação do dano
G_d	Grau de deterioração da estrutura
G_{de}	Grau de deterioração do elemento
G_{df}	Grau de deterioração de uma família de elementos
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
KCO_2	Coeficiente de Carbonatação
T	Tempo
ECO_2	Espessura da camada de concreto carbonatado
K	Grau de deterioração da família majorado
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
I.E	Índice de esclerometria
OAE	Obra de Arte Especial

SUMÁRIOS

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	2
2.1	OBJETIVOS GERAIS	2
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
3.1	ESTRUTURA DE PONTE	3
3.2	DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	8
3.3	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO	8
4	METODOLOGIA	11
4.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	11
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	11
4.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	12
4.3.1	1ª ETAPA: Inspeção visual na estrutura.	13
4.3.2	2ª ETAPA: Ensaio <i>in loco</i> .	14
4.3.3	3ª ETAPA: Aplicação da metodologia GDE/UnB.	18
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
5.1	DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO DA PONTE	26
5.2	RESULTADOS DOS ENSAIOS <i>IN LOCO</i>	27
5.3	ANÁLISE DOS GRAUS DE DETERIORAÇÃO DOS ELEMENTOS	32
4.3.1	Cálculo do grau de deterioração pela metodologia de Castro (1994) adaptada por Fonseca (2007)	35
4.3.2	Cálculo do grau de deterioração pela metodologia de GDE/UnB adaptada por Euqueres (2011) e por Verly (2015).	37
6	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	41
	ANEXO 1	44
	APÊNDICE A	50

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil, as estruturas de concreto armado são projetadas para atingirem suas vidas úteis de projeto desempenhando funções para qual foram idealizadas. Porém, Vilas Boas et. al. (2018) defendem que existem vários fatores responsáveis por prolongar ou reduzir essa vida útil, como por exemplo: falhas durante a execução da obra, falta de manutenção, agentes químicos, temperatura e condições climáticas, são fatores que podem acarretar na diminuição da vida de uma estrutura em concreto armado.

Como os materiais não são intrinsecamente duráveis, suas propriedades variam em decorrência da interação da sua microestrutura com o meio ambiente, resistindo a agentes agressivos e esforços internos e externos atuantes. Essas variações acontecem ao longo do tempo, comprometendo assim a durabilidade de um determinado material. A sua vida útil é finalizada quando suas propriedades tornam seu uso custo/benefício oneroso ou inseguro (ROQUE e MORENO JUNIOR, 2005).

Segundo Vilas Boas et. al. (2018), a utilização de mão de obra desqualificada atrelada à falta de manutenção podem ser as principais causas do surgimento de várias anomalias em estruturas de concreto armado. Além disso, os problemas patológicos associados ao envelhecimento das estruturas decorrem, em sua maioria, de um planejamento equivocado, desconsiderando as orientações presentes nas normas vigentes, assim gerando a necessidade de recuperação da estrutura posteriormente. Deste modo, atribui-se o problema atual da pouca durabilidade das construções à carência de conhecimento quanto aos processos construtivos e materiais para a produção de uma estrutura de concreto armado (MEDEIROS, 2015).

Assim, esse estudo se propõe a realizar ensaios não destrutivos e inspeções visuais, em campo, a fim de identificar os principais defeitos e suas causas, como também compreender como essas falhas podem influenciar no desempenho estrutural da edificação em questão.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar o grau de deterioração da obra de arte em questão, através do estudo das manifestações patológicas existentes.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Identificar as manifestações patológicas existentes na ponte estudada por meio de inspeção visual e de ensaios não destrutivos;
- II. Quantificar o grau de deterioração da estrutura mediante a aplicação da metodologia de avaliação GDE/UnB;
- III. Elencar as possíveis causas dos danos e identificar o prazo recomendável para as intervenções.

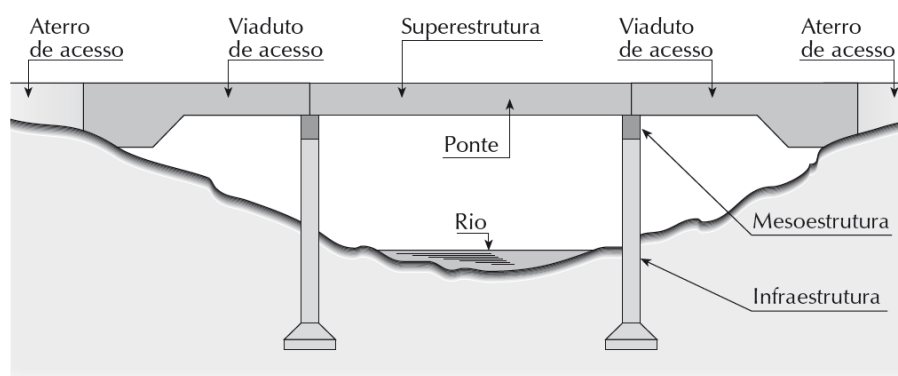
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ESTRUTURA DE PONTE

As pontes, também denominadas Obras de Arte Especial (OAE), são construções com finalidade de vencer obstáculos naturais ou artificiais, tais como: passagens molhadas, vales, rios, entre outros, estabelecendo assim uma continuidade a vias de qualquer natureza. Segundo El Debs e Takeya (2007), quando os obstáculos a serem ultrapassados forem artificiais, como ruas e centros urbanos, as pontes são denominadas de viadutos ou elevados.

De acordo com El Debs e Takeya (2007), as pontes podem ser subdivididas em três partes distintas: Superestrutura, Mesoestrutura (aparelhos de apoio, pilar e encontro) e Infraestrutura (fundação).

Figura 1: Subdivisões de uma ponte.



Fonte: Marchetti (2008).

Com o avanço dos métodos construtivos e o emprego do concreto armado nas construções de Obras de Artes Especiais, foram surgindo diversas classificações de pontes, sendo os mais comuns a classificação quanto ao seu sistema estrutural da superestrutura, tamanho do vão total, processo de execução, entre outras.

- Classificação segundo a extensão do vão total:

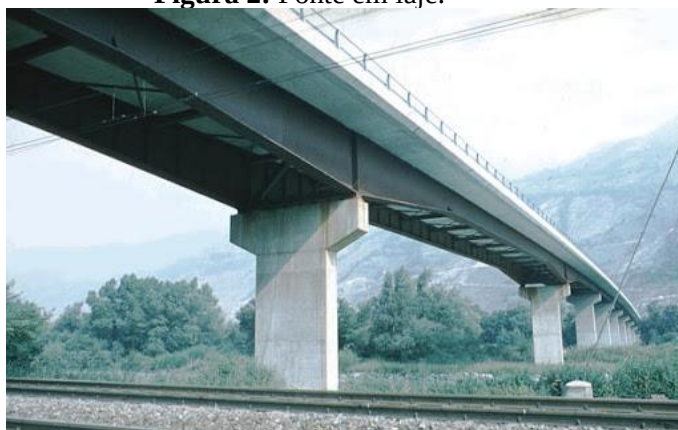
Segundo Marchetti (2008), as pontes podem ser classificadas de acordo com a extensão do vão total: estruturas com vão de até 2 metros são classificados como bueiros; as estruturas com vão total entre 2 e 10 metros são denominados pontilhões, e as estruturas com vão maior que 10 metros são classificados como pontes. De acordo com El Debs e Takeya (2007), esta classificação tem relevância apenas para apresentar nomenclaturas distintas para pontes com relação a sua extensão.

- Classificação segundo o sistema estrutural:

De acordo com Pfeil (1983), os sistemas estruturais de superestrutura mais utilizados em pontes são em laje, viga, pórticos, arco, atirantadas, pênséis ou ponte suspensa.

Ponte em laje: Seu sistema estrutural consiste basicamente em estruturas biapoiadas ou contínuas, podendo ter seção transversal maciça ou nervurada, ilustrada na Figura 2, propiciando boa resistência a torção e boa distribuição das cargas atuantes (STUCCHI, 2006).

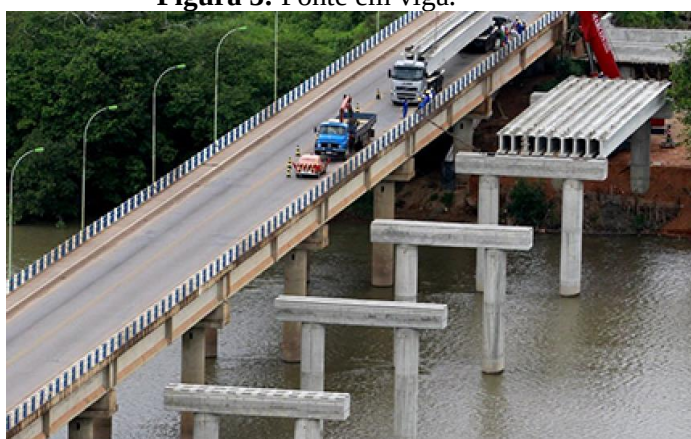
Figura 2: Ponte em laje.



Fonte: Gramme Unité Construction. Disponível em: <http://www.gramme.be/>.

Ponte em viga: Possui sistema estrutural biapoiada ou continua. Na seção transversal pode existir duas ou mais vigas, ilustrada na Figura 3, ou uma viga do tipo caixão. Vasconcelos (2018) comenta que as estruturas em vigas, geralmente, possuem extensão de até 50 metros quando montadas *in loco*, e de 40 metros para estruturas pré-moldadas, apresentando ligações que não permitam a transferência dos momentos fletores entre a superestrutura e mesoestrutura.

Figura 3: Ponte em viga.

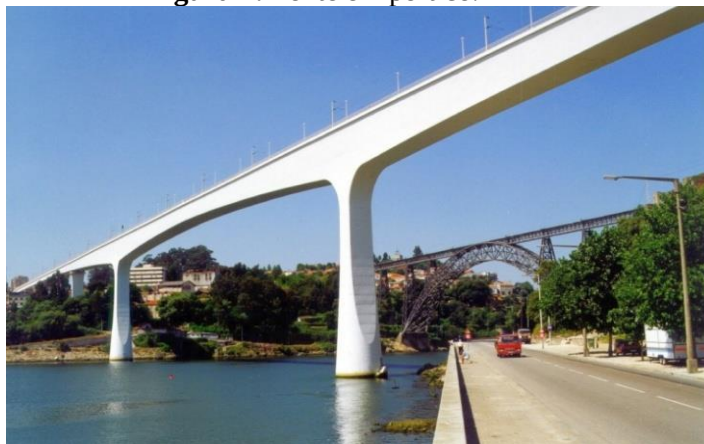


Fonte: EngWhere. Disponível em: <https://www.engwhere.com.br>.

Ponte em pórticos: De acordo com Vasconcelos (2018), os pórticos funcionam como ligações que garantem a rigidez a flexão do corpo estradal, pilares e a fundação (Figura 4), sem a necessidade de utilizar aparelhos de apoios entre eles. As vigas e pilares atuam de forma

monolítica fazendo com que os esforços de flexão atuantes no corpo estradal sejam transmitidas aos pilares.

Figura 4: Ponte em pórtico.



Fonte: Porto – Antiga e leal, sempre mui nobre cidade invicta. Disponível em: <https://lisboanoguiness.blogs.sapo.pt/>.

Ponte em arco: Sequinel e Silva (2017) comentam que as pontes em arcos permitam vencer obstáculos sem a necessidade de acrescentar pilares de sustentação ao longo da superestrutura (Figura 5). O formato em arco permite que a ponte supere vão maiores, devido a capacidade resistiva do concreto a esforços de compressão.

Figura 5: Ponte em arco.



Fonte: Ecoponte. Disponível em: <https://www.ecopontes.com.br/>.

Ponte em pênsis: De acordo com Sequinel e Silva (2017), as pontes em pênsil não possuem pilares de sustentação ao longo de sua extensão, como ilustrada na Figura 6. Foram projetadas visando suportar vibrações na superestrutura.

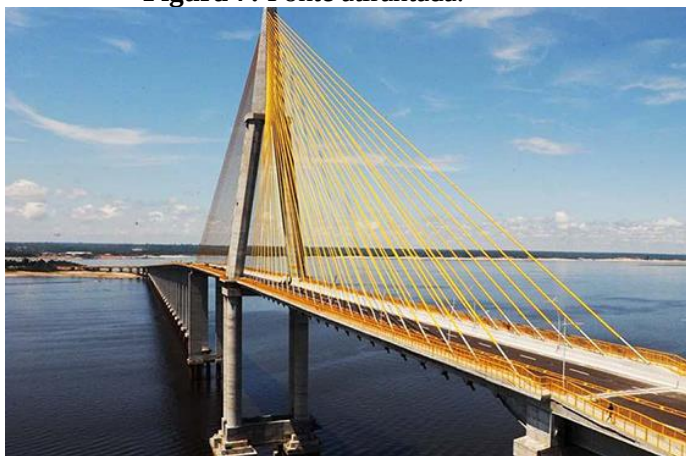
Figura 6: Ponte em pênses.



Fonte: EngWhere. Disponível em: <https://www.engwhere.com.br>.

Ponte atirantada: Como ilustrada na Figura 7, possui sistema estrutural semelhante as pontes em pênses, a principal diferença entre elas, é que a atirantada é composta por um mastro que é ligado diretamente ao tabuleiro da ponte e, os cabos possuem angulações, gerando forças horizontais sobre o tabuleiro (VASCONCELOS, 2018).

Figura 7: Ponte atirantada.



Fonte: Ecoponte. Disponível em: <https://www.ecopontes.com.br/>.

- Classificação segundo o processo de execução:

A montagens das OAE's requer estudos detalhados sobre os obstáculos apresentadas na localidade onde serão implementadas, acessibilidade a materiais a serem utilizados na obra, entre outros, levando em consideração o tempo de construção da estrutura visando um melhor custo/benefício. Assim, com esses estudos realizados, a escolha pelo processo de execução correta para o projeto torna-se um ponto fundamental para o projeto. De acordo com Marchetti (2008), usualmente os métodos construtivos são:

- *In loco* (montagem no local);
- Pré-moldados;

- Balanços sucessivos;
- Aduelas ou segmentos progressivos.

In loco: A superestrutura é executada no próprio local da obra, apoiada diretamente nos pilares e na posição definida em projeto.

Pré-moldado: Os elementos da superestrutura são confeccionados fora do local da obra e posteriormente são transportados e colocados sobre os pilares de sustentação.

Balanços sucessivos: A superestrutura é executada sucessivamente a partir dos pilares de sustentação já construídos, como ilustrada na Figura 8. As partes novas da superestrutura ficam em balanço, apoiadas em outras partes, anteriormente instaladas.

Figura 8: Construção em balanços sucessivos.



Fonte: EngWhere. Disponível em: <https://www.engwhere.com.br>.

Aduelas ou segmentos (Figura 9): Processo semelhante ao balanço sucessivo. Tendo como principal diferença é que neste processo as partes são pré-moldados, colocadas sucessivamente.

Figura 9: Construção em segmentos ou aduelas.



Fonte: EngWhere. Disponível em: <https://www.engwhere.com.br>.

3.2 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O conceito de durabilidade está ligado diretamente à ideia de vida útil da estrutura. É a expectativa de que a estrutura suporte as interações com o meio em que está inserida desempenhando satisfatoriamente a função para qual foi idealizada (BOETTGER, 2018).

[...] durabilidade é o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção. Portanto não é uma propriedade inerente ou intrínseca à estrutura, à armadura ou ao concreto. Uma mesma estrutura pode ter diferentes comportamentos, ou seja, diferentes funções de durabilidade no tempo, segundo suas diversas partes, até dependente da forma de utilizá-la (MEDEIROS et al, 2011 p. 3).

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), a durabilidade é definida como sendo a capacidade da estrutura em suportar às influências previstas e definidas, no início da elaboração do projeto, de maneira clara tanto para o autor do projeto estrutural quanto para o contratante.

Segundo Helene (2001), existe um crescente número de estruturas de concreto armado apresentando manifestações patológicas, devido ao resultado do envelhecimento precoce das construções existentes. Essa afirmação, demonstram que as exigências e recomendações existentes nas principais normas de projeto e execução de estruturas de concreto ainda apresentam falhas.

Quanto a vida útil de projeto das estruturas de concreto armado, é usualmente definida como o período, que foi previsto na fase de planejamento, em que as estruturas de concreto mantêm condições satisfatórias de uso, atendendo as necessidades para qual foram projetadas. A vida útil de uma estrutura de concreto depende de vários fatores, inclusive da importância da obra, motivo pelo qual não existe fixação de um valor mínimo explicitado na norma.

3.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES DE CONCRETO ARMADO

Boettger (2018) defende que manifestações patológicas em uma estrutura de concreto armado podem ter sua origem, na maioria dos casos, associada a tomadas de decisões equivocadas nos processos de planejamento. Por exemplo, em um projeto que não leva em consideração as orientações da ABNT NBR 6118 (2014) sobre a classe de agressividade do ambiente, o cobrimento pode ser projetado com um valor inferior ao necessário; outro exemplo são falhas no adensamento ou uso inadequado de materiais no concreto fazendo com que surjam nichos nos elementos estruturais.

Além das causas aqui citadas, a origem também pode estar associada à fatores naturais e acidentais, como por exemplo, a degradação física, química e biológica dos materiais; enchentes, choques, sismos, recalque, entre outros fatores (LENCIONI, 2005).

Medeiros (2015) descreve algumas manifestações patológicas do concreto armado que são comuns em elementos estruturais de pontes, as que serão abordadas neste trabalho estão descritas a seguir:

- **Corrosão**

De acordo com Sousa e Ripper (2009), o processo de corrosão das armaduras é uma troca da seção da área de aço por uma camada do produto de reação química oxidante, a ferrugem, o que ocasiona a redução de sua área útil e, conseqüentemente, reduzindo a eficiência resistiva da mesma, prejudicando o seu desempenho estrutural.

Sousa e Ripper (2009) mencionam alguns efeitos negativos sobre elementos estruturais provenientes da corrosão das armaduras no concreto armado, como a perda de aderência entre a barra de aço e o concreto; a ruptura da barra de aço ocasionada pela redução da área útil da mesma; abertura de fissuras na peça de concreto devido a falha na solidariedade entre os elementos que a compõem (aço e concreto), entre outros.

Medeiros (2015) menciona que a corrosão das armaduras pode ser iniciada a partir de processos construtivos deficitários, carbonatação do concreto, presença de íons cloretos na estrutura, entre outros. Assim, o ambiente no qual a OAEs está inserida e combinada a agentes agressivos causam a ruptura da camada passivadora do concreto ocasionando a corrosão de suas armaduras.

- **Carbonatação:**

De acordo com Vasconcelos (2018), a carbonatação é ocasionada pela presença de dióxido de carbono (CO_2) incorporado ao concreto armado durante a fase de hidratação do cimento, o que gera a conversão dos íons de cálcio do concreto endurecido em carbonato de cálcio, pela reação com o dióxido de carbono da atmosfera, provocando a redução do pH do concreto;

Souza e Ripper (2009) mencionam que o estado crítico de carbonatação em um elemento estrutural é quando ela ultrapassa o cobrimento de concreto chegando as armaduras, fazendo com que a camada passivadora do aço seja rompida e assim inicie o processo de formação de óxidos na superfície das armaduras.

[...] A carbonatação pode ser facilmente detectada através de ensaios com indicadores químicos de pH, entre eles, pode-se utilizar a fenolftaleína, que

fica com uma coloração rosada quando o concreto está com um pH básico, indicando que não há carbonatação, quando não há mudança de coloração significa que ocorreu carbonatação. Pode-se observar na figura 15, a região carbonatada onde não está rosado, e a região que ainda não foi despassivada, na cor rosa. (CARDOSO, 2018, pág 26)

- **Íons cloretos**

Cardoso (2018) menciona que se o cobrimento determinado em projeto não for suficiente ou se o concreto é muito poroso, a camada passivadora poderá ser rompida na presença de grande quantidade de íons-cloreto. Também é mencionada que no próprio preparo do concreto armado, agregados mal lavados e de origem de jazidas ricas em sais, aumentando a quantidade de íons cloretos no elemento estrutural, aumentando consequentemente a probabilidade de corrosão das armaduras.

Segundo Laner (2011), a presença dos íons cloretos nos elementos estruturais podem ser agravadas pelo acréscimo de aditivos aceleradores de pega durante o preparo do concreto, destruindo assim a camada protetora presente nas armaduras e aumentando a condutividade do meio.

4 METODOLOGIA

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa classifica-se conforme sua finalidade explicativa, ou seja, descrever as características das manifestações patológicas apresentadas na ponte de concreto armado localizada na BR-226 no município de Pau dos Ferros/RN e, exploratória, tornando a problemática de como as manifestações patológica podem influenciar o desempenho estrutural da ponte e a redução de sua vida útil devido a estas manifestações mais explícitas. Quanto aos meios que serão utilizados para realizar a pesquisa, enquadra-se como bibliográfica, uma vez que será feito um levantamento bibliográfico sobre manifestações patológicas e métodos de identificação das mesmas, incluindo também ensaios *in loco*.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

A ponte está localizada próximo a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA, na cidade de Pau dos Ferros/RN, mais precisamente no quilômetro 409, pertencendo ao sistema de drenagem da Rodovia Federal BR-226 e, possuindo extensão de aproximadamente 200 metros.

Segundo o DNIT (2017), a rodovia transversal BR-226 liga a cidade de Natal/RN ao município de Paraíso do Tocantins/TO, possuindo extensão total de 2.164 km, cortando os estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Maranhão e Tocantins.

Figura 10: Localização da ponte.



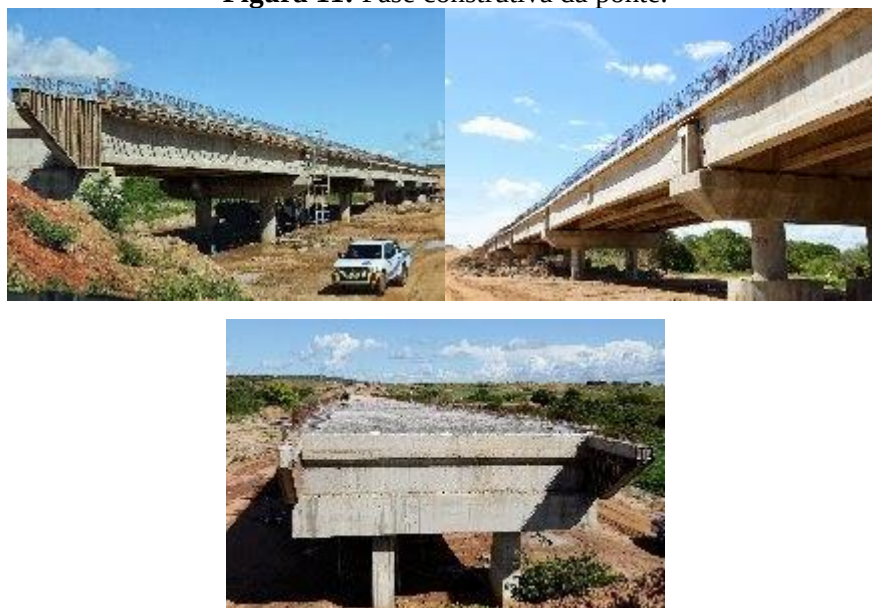
Fonte: Autor (2020).

De acordo com a norma técnica brasileira ABNT NBR 6118 (2014), o ambiente na qual a estrutura está inserida pode ser classificada como rural. O meio com agentes nocivos aos

elementos de concreto como agressividade fraca, portando, os riscos de deterioração da estrutura pode ser considera insignificante.

A OAE é composta por seis vãos, cinco longarinas, dez pilares e quatro blocos de coroamento. A ponte foi inaugurada em 2016, e custou aos cofres públicos do Governo do Estado do Rio Grande do Norte o valor de aproximadamente R\$ 8 milhões (BLOG ANTONIO MARTINS NEWS, 2014).

Figura 11: Fase construtiva da ponte.



Fonte: Blog Antônio Martins News (2014).

4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos dessa pesquisa foram: pesquisa bibliográfica, obtenção dos dados em campo e posterior análise desses dados.

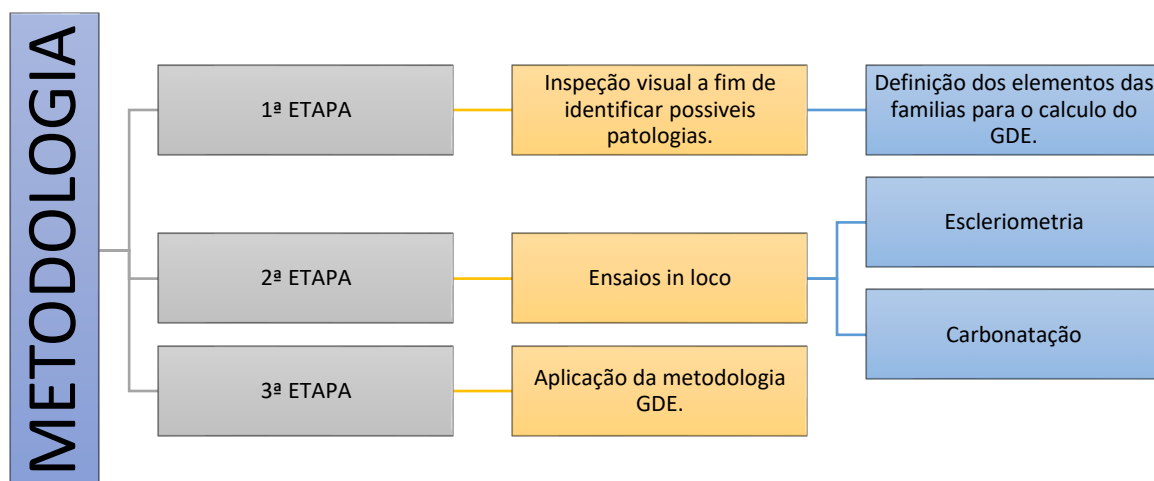
O levantamento bibliográfico para realização deste estudo abordou os seguintes temas: aspectos gerais sobre manifestações patológicas, tendo a finalidade de descrever como atuam na estrutura e identificar suas possíveis causas; avaliação de impactos estruturais, com o objetivo de definir o método utilizado para identificar os impactos significativos no elemento investigado e; gerar resultados por meio de planilhas criadas no Excel, com o foco em elaborar ações para mitigar os impactos estruturais identificados nessa Obra de Arte Especial.

Foram realizadas visitas técnicas para identificar *in loco* as principais patologias presentes na estrutura. Para obtenção dos dados de campo inicialmente foram realizados ensaios

de carbonatação, íons cloreto e corrosão, buscando informações a serem acrescentadas à metodologia de avaliação de Obras de Artes Especiais, GDE/UnB.

Ao final da aplicação da metodologia, será desenvolvida uma avaliação quantitativa e qualitativa do mesmo, tomando como referência a fundamentação teórica utilizada na pesquisa. E por fim, serão propostas alternativas para sancionar os problemas identificados, com base nas normas e manuais vigentes e aplicáveis, buscando a melhoria da estrutura. A metodologia se divide nas partes descritas na Figura 12.

Figura 12: Fluxograma da metodologia de pesquisa.



Fonte: Autor (2020).

4.3.1 1ª ETAPA: Inspeção visual na estrutura.

Na 1ª Etapa, foi realizada uma inspeção visual a fim de identificar manifestações patológicas de diversas naturezas. Para isto, foi necessária a utilização de equipamentos fotográficos para registrar e documentar as manifestações, assim como foi imprescindível a utilização de planilhas eletrônicas para uma melhor organização e análise dos dados coletados.

Esta etapa foi utilizada tanto para aplicar a metodologia GDE/UnB quanto para a escolha dos elementos estruturais onde seriam realizados os ensaios *in loco* (mesoestrutura e infraestrutura), levando em consideração o aspecto visual mais desconfortável para quem está analisando, a fim de estudar os componentes em estados mais crítico da OAE.

Também foi levada em consideração para a escolha dos componentes a serem estudados a posição dos mesmos, como por exemplo, os elementos centrais de estrutura, teoricamente, tendem a ter mais contato com a água do corpo hídrico sob a mesma. Assim, foram ensaiados os elementos localizados nas extremidades e os mais centralizados.

Elementos escolhidos para realização de ensaios foram 3 pilares e 1 bloco de coroamento.

Tabela 1: Quantidade de elementos ensaiados.

Elementos e números de ensaios		
Ensaio	Fundação em estacas	Pilares
Esclerometria	1	3
Carbonatação	1	3

Fonte: Autor (2020).

Os demais elementos não foram ensaiados devido à falta de informação sobre os mesmos. Assim, a execução do ensaio de carbonatação (o qual requer a abertura de uma pequena janela no elemento) pode danificar a mesma, prejudicando o seu desempenho estrutural.

Outros fatores também influenciaram nesta etapa, como a dificuldade no acesso a determinados elementos, a periculosidade do local e a falta de equipamentos e Nitrato de Prata para realização de outros ensaios.

4.3.2 2ª ETAPA: Ensaios *in loco*.

Devido os problemas citados anteriormente, os ensaios *in loco* realizados foram baseados nos seguintes procedimentos:

- Medição da profundidade da carbonatação através da aspersão de solução de fenolftaleína 1%, em uma área de 5 por 10 centímetros, apresentando coloração específica indicando presença, ou não, de carbonatação.
- Estudo da dureza superficial dos elementos que compõem a estrutura por meio do ensaio de esclerometria, segundo a norma técnica ABNT NBR 7584/2012
 - Avaliação da dureza superficial, utilizando o esclerômetro de reflexão.

I. Ensaio de carbonatação

O ensaio de carbonatação foi realizado por meio da aplicação de solução alcóolica de fenolftaleína à 1%. Para a realização do ensaio foram utilizados talhadeira e martelo para aberturas de pequenas janelas no elemento em análise; paquímetro digital graduado milimetricamente para verificar a profundidade de penetração da carbonatação e frasco aspersor.

A solução de fenolftaleína 1% é comumente utilizada para determinar o pH de substâncias, ou no caso, elementos estruturais. A fenolftaleína possui a característica de mudar a coloração, de incolor para rosa (pH entre 8 e 10) ou roxo (pH entre 10 e 12), dependendo da intensidade do pH apresentado. A solução de fenolftaleína possui intervalo de viragem entre o pH ácido para base passando de incolor para rosa, entre os valores de pH de 8,2 a 9,8 (MEDEIROS, 2015).

O indicador de pH foi borrifado em pequenos sulcos feitos nos elementos estruturais da Obra de Arte Especial em estudo, os sulcos tiveram dimensões de 5x10 centímetros. A abertura destes sulcos faz necessária a retirada da camada de cobrimento, deixando a armadura da peça exposta. Posteriormente foi aplicado a fenolftaleína e ao fim do ensaio foi realizado o reparo das aberturas feitas nos elementos ensaiados.

Figura 13: Abertura das janelas para o ensaio de carbonatação.



Fonte: Autor (2020).

Assim, é possível identificar se a peça estrutural reduziu o pH ocasionado pelo fenômeno de carbonatação. Esta manifestação não deteriora o cimento, porém facilita a corrosão das armaduras e, conseqüentemente a despassivação das mesmas, deixando assim de ser solidária com o concreto.

Figura 14: Malha de 5x10 centímetros, aplicado a solução de Fenolftaleína 1%



Fonte: Autor (2020).

Para aferir a penetração da carbonatação foi utilizado um paquímetro digital na região que permaneceu incolor. Por fim, com as medições realizadas, foi calculado o coeficiente de carbonatação pelo modelo de Tuutti (1982) utilizando a Equação 6. Segundo Medeiros (2015), este modelo é uma interpretação da Lei de Fick, que relaciona o nível de deterioração das estruturas de concreto com o processo de corrosão das armaduras ocasionada pelo fenômeno de carbonatação.

$$ECO_2 = KCO_2 T^{0,5} \quad (6)$$

Onde

ECO_2 : Espessura da camada carbonatada (mm);

KCO_2 : Coeficiente de carbonatação (mm/ano^{0,5});

T: Tempo (ano).

II. Ensaio de Esclerometria

Esse ensaio consiste basicamente de um sistema massa-mola, que é pressionado contra a superfície de um elemento de concreto. É um ensaio não destrutivo que mede a resistência superficial do concreto, por meio de valores dos impactos mostrados no esclerômetro de reflexão, modelo Control 58-C0181-N.

Figura 15: Esclerômetro utilizado nos ensaios.



Fonte: Autor (2020).

O ensaio de esclerometria é normatizado pela ABNT NBR 7584/2012 – Avaliação da dureza superficial, onde são descritos todos os procedimentos de manuseio técnico para a realização correta do ensaio. Logo, foram feitas malhas nos elementos de 20x20 centímetros, a fim de evitar que a distância entre os centros dos quadrados que a compõem não tenha valores menores que 3 centímetros, conforme indicado pela ABNT NBR 7584/2012. Ao final do ensaio, realizou-se a estimativa da resistência superficial dos elementos.

Figura 16: Malha de 20x20 centímetros, subdividida em 16 partições iguais.



Fonte: Autor (2020).

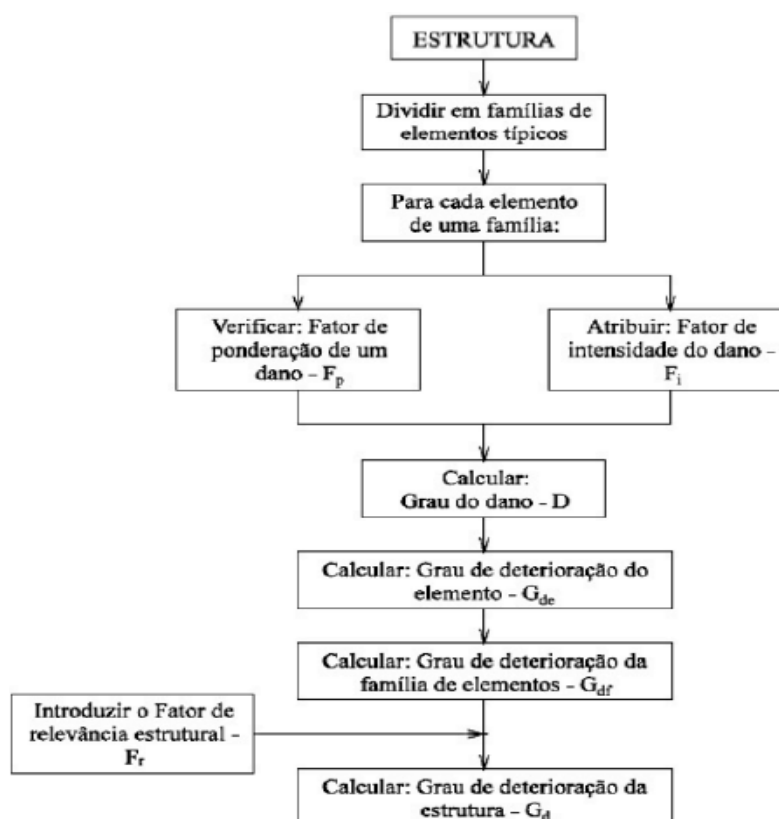
Vale ressaltar que para obter valores aproximados da resistência real da peça, a superfície dos elementos na região da malha deve receber uma limpeza, uniformizando e evitando impactos sobre áreas de bolhas ou similares, minimizando assim, resultados falsos de dureza superficial.

4.3.3 3ª ETAPA: Aplicação da metodologia GDE/UnB.

A metodologia abordada neste trabalho foi desenvolvida por Castro (1994), a fim de avaliar quantitativamente estruturas de concreto armado convencionais, apresentando resultados consistentes em relação ao grau de deterioração destas estruturas. Posteriormente, a metodologia sofreu várias adaptações para distintas estruturas de concreto armado, chegando a mais recente, adaptada por Verly (2015), visando a aplicação em Obras de Artes Especiais.

A metodologia é composta por formulações matemáticas e tabelas desenvolvidas para obtenção de valores numéricos do grau de deterioração de uma OAE. Para procedimento de cálculo da deterioração da estrutura analisada, Verly (2015) propôs o fluxograma da metodologia de cálculo mostrado na Figura 17.

Figura 17: Fluxograma da metodologia GDE/UnB adaptada.



Fonte: Verly (2015).

Onde:

- Divisão em famílias: Elementos que compõem a estrutura são agrupados de acordo com suas características estruturais e sua função estrutural no conjunto;
- Fator de ponderação (F_p): quantifica a importância relativa de uma manifestação patológica no que se refere às condições gerais de segurança, funcionalidade e estética dos elementos de uma determinada família;
- Fator de intensidade (F_i): O Fator de intensidade tem o objetivo de classificar o grau e evolução do dano de um determinado elemento. Esse fator varia de 0 a 4, progredindo de acordo com a gravidade do dano;
- Grau do dano (D): refere-se a uma possível descrição geral de como o processo de deterioração se estabelece dentro de uma estrutura;
- Grau de Deterioração de elemento (G_{de}): Analisa os danos isolados dos elementos estruturais, buscando agora avaliar o estado geral dos elementos;
- Grau de deterioração da família (G_{df}): avaliar todos os elementos de uma família;
- Fator de relevância (F_r): Este fator foi adaptado por Verly (2015), inserindo-o na metodologia desenvolvida por Castro (1994). Tem como objetivo classificar a importância de uma família no desempenho de uma estrutura, logo depende do sistema estrutural em análise;
- Grau de deterioração da estrutura (G_d): Por fim, se obtém o valor final da classificação da estrutura.

Na sequência serão apresentadas detalhadamente todas as etapas do roteiro de cálculo da metodologia GDE abordada por Verly (2015), ilustradas na Figura 17.

- **Divisão em famílias de elementos típicos**

Os elementos são divididos em grupos com base nas suas características estruturais específicas e levando em consideração a sua função estrutural no conjunto da Obra de Arte Especial. Assim, são formadas subdivisões denominadas de famílias de elementos. Segundo Verly (2015), os elementos de um grupo não podem ser tratados de maneira igualitária, pois os estes elementos podem ter importância estrutural distintas em diferentes sistemas estruturais.

Um exemplo seriam as transversinas em uma OAE, que podem ser portantes ou de ligação. As primeiras suportam o carregamento permanente de uma laje e atuam na distribuição transversal de esforços. As transversinas de ligação atuam apenas na distribuição transversal de esforços. Dessa forma, a ruína desses dois elementos implica em consequências distintas na estabilidade

global da estrutura, portanto é recomendável que fiquem em famílias distintas (VERLY, 2015, Pag. 34).

Verly (2015) aplicou a metodologia em OAEs conforme a Tabela 2. Cada família possui elementos escolhidos tomando como base a sua importância relacionada ao desempenho da estrutura como um todo (VERLY, 2015).

Tabela 2: Fatores de relevância estrutural – adaptada.

Elementos	Fr
Barreiras, guarda-corpos, guarda rodas, pista de rolamento	1
Juntas de dilatação	2
Transversinas, cortinas, alas	3
Lajes, fundações, vigas secundarias, aparelhos de apoio	4
Vigas e pilares principais	5

Fonte: Verly (2015).

- **Fator de ponderação ao dano (F_p)**

Este fator tem como objetivo quantificar a intensidade relativo de um dano levando em consideração as condições de segurança da estrutura como um todo, observando a funcionalidade e a estática dos elementos que a compõem (CASTRO, 1994). Assim, o fator de ponderação ao dano, pode-se assumir valores variando entre 1 e 5, de acordo com o estado que o dano se encontra.

Castro (1994) menciona que uma mesma manifestação patológica, estando em grupos de famílias distintas, pode assumir diferentes valores de fator de ponderação ao dano (F_p).

Desde a criação da metodologia GDE/UnB, por Castro (1994), utiliza-se formulários que devem ser utilizados durante as análises dos elementos estruturais, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Modelo de ficha de inspeção – adaptada.

Nome do Elemento					
Tipo de Elemento					
Local					
Danos	F_p	F_i	D	Croquis/Observações	
Carbonatação	3				
Cobrimento deficiente	3				
Contaminação por cloretos	4				
Corrosão de armaduras	5				
Danos por impacto	5				
Desagregação	3				
Desplacamento	3				
Desvio de geometria	4				
Eflorescência	2				
Falha de concretagem	3				

Fissuras	2 a 5*
Manchas	3
Recalque	5
Sinais de esmagamento	5
Umidade na base	3

Fonte: Euqueres (2011)

Os valores de ponderação ao dano são preenchidos antes da inspeção de acordo com o item descrito anteriormente, sendo o caso das fissuras a única exceção (Tabelas A.3 e A.4 em anexo), este valor é preenchido durante a inspeção.

- **Fator de intensidade do dano (F_i)**

Este fator tem por finalidade classificar o grau e evolução do dano em determinados elementos da OAE, possui valores variando entre 0 e 4, aumentando em função da severidade apresentada pelo dano.

Para a obtenção do F_i , são considerados os dados adquiridos por meio da observação visual, que abrange de testes simples a análises do ambiente como um todo, além de comparações entre as medições em que a estrutura foi construída e os limites recomendados por norma (VERLY, 2015).

Castro (1994) alerta que esse tipo de pontuação pode resultar em uma avaliação muito subjetiva caso não seja acompanhada de uma classificação mais detalhada, em que se identifique o nível de gravidade e sua evolução. O caderno de inspeções elaborado por Castro e suas alterações posteriores por Boldo (2002), Fonseca (2007) e Euqueres (2011) contemplam a relação dos danos e as recomendações de F_i acompanhadas de fotos e desenhos que, apesar de não eliminarem, reduzem demasiadamente o caráter subjetivo da atribuição do fator de intensidade (VERLY, 2015, pág. 36).

Além de acompanhadas de fotos e desenhos, a análise dos danos para atribuição dos fatores de intensidade pode também, realizar comparações entre as deformações dos elementos medidas *in loco* e as recomendadas pelas normas vigentes. (GOMES e XAVIER, 2018).

- **Grau do dano (D)**

Seu valor é obtido em função dos fatores de intensidade e de ponderação ao dano, F_i e F_p respectivamente. O modelo foi desenvolvido originalmente para descrever o mecanismo de corrosão das armaduras de elementos estruturais, mas Tuutti (1982) observou que seu modelo fornece possíveis parâmetros para descrição de deterioração no geral.

Introduzido na metodologia GDE por Castro (1994), a deterioração ocorreria em duas fases distintas, iniciação: período em que o dano se torna notável e; propagação: período em

que o dano se agrava no interior da estrutura. O valor de D pode ser calculada pelas Equações 1 e 2.

Para $F_i \leq 2,0$

$$D = 0,8F_iF_p \quad (1)$$

Para $F_i \geq 3,0$

$$D = (12F_i - 28)F_p \quad (2)$$

- **Grau de deterioração do elemento (G_{de})**

Após calcular os graus de dano dos elementos estruturais isolados (D), levando em consideração os efeitos dos danos dos elementos isolados (VERLY, 2015). A Equação 3, foi proposta por Lopes (1998).

$$G_{de} = D_{máx} \left[1 + \frac{\sum D_i - D_{máx}}{\sum D_i} \right] \quad (3)$$

Onde:

G_{de}	Grau de deterioração do elemento;
D_i	Grau de dano de índice “i”;
$D_{máx}$	Maior Grau de dano encontrado no elemento;
n	Número de danos encontrados no elemento.

Após a obtenção do valor do grau de deterioração do elemento (G_{de}), o Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obra de Artes Especiais recomenda ações preventivas e corretivas a serem realizadas de acordo com nível apresentado, essas recomendações estão abordadas na Tabela 4. Sendo que o valor do G_{de} aumenta, as recomendações se tornam mais rigorosas.

Tabela 4: Classificação dos níveis de deterioração do elemento – adaptada.

Nível de deterioração	G_{de}	Ações a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).

Alto	50 - 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano).
Sofrível	80 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses).
Critico	> 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Fonte: Fonseca (2007)

- **Grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df})**

O G_{df} é utilizado para avaliar os conjuntos de elementos de uma mesma família, tomando como base o grau de deterioração do elemento calculado anteriormente, obtido para cada elemento da família em estudo (VERLY, 2015). É obtido através da Equação 4.

$$G_{df} = G_{de,máx} \sqrt{1 + \frac{\sum D_{de,i} - D_{de,máx}}{\sum D_{de,i}}} \quad (4)$$

Onde:

$G_{de,máx}$ Maior grau de deterioração encontrada na família de elementos;
 $G_{de,i}$ Graus de deterioração apresentada pelos elementos da família (≥ 15);
 m Número de elementos com $G_{de} \geq 15$.

Castro (1994) determinou que o valor do grau de deterioração do elemento deve ser superior a 15, a fim de caracterizar o que chamou de danos excessivos, fazendo com a análise verifique os piores casos possíveis.

- **Grau de deterioração da estrutura (G_d)**

O G_d é utilizado para determinar o grau de deterioração da estrutura como um todo, levando em consideração os valores do grau de deterioração das famílias das estruturas, calculada pela Equação 4, ponderada pelos fatores de relevância estrutural das famílias. Este grau é determinado pela Equação 5.

$$G_d = \frac{\sum (F_{r,i} G_{df,i})}{\sum F_{r,i}} \quad (5)$$

Onde:

Fr Fator de relevância estrutural da família de ordem “i”;

Gdf,i Grau de deterioração da família de ordem “i”;

k Número de famílias da estrutura.

Após a determinação do valor do G_d , a estrutura é classificada com base nos valores da Tabela 5, a medida em que o valor do G_d aumenta, as recomendações se tornam mais rigorosas.

Tabela 5: Classificação dos níveis de deterioração da estrutura – adaptada.

Nível de deterioração	G_d	Ações a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em longo prazo (máximo 2 anos).
Alto	50 - 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em médio prazo (máximo 1 ano).
Sofrível	80 - 100	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máximo 6 meses).
Critico	> 100	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Fonte: Fonseca (2007)

Segundo Verly (2015), a metodologia GDE/UnB analisa a estrutura de acordo com o grau de deterioração dos elementos que a compõe. Esta metodologia inicia-se com análise visual da estrutura, a fim de obter os fatores de intensidade do dano sobre um elemento estrutura e, de ponderação desse dano. Posteriormente esses valores são inseridos em equações já descritas no item 4.6.

Suas fichas de inspeção aplicada na metodologia diferem de um sistema estrutural para outro, a cada trabalho desenvolvido suas fichas sofreram alteração levando em consideração o tipo de construção que está sendo inspecionada.

No caso, inspeção foi realizada conforme os procedimentos descritos nos documento abordados na metodologia, que teve sua última atualização feita por Verly (2015), onde passou a se chamar Manual de aplicação da metodologia GDE/UnB em OAEs, sem alterações nos valores do fator de ponderação pré-definidos pelo autor.

Foi utilizada planilha eletrônica elaborada no Microsoft Excel baseado nos cálculos abordados no Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB, com intuito de facilitar e

agilizar o procedimento avaliativo para cada elemento. Desta forma, os resultados são obtidos com mais precisão e clareza.

Na ficha disponibilizada pelo Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obra de Arte Especiais, desenvolvida por Verly (2015), existem citações de danos causados por carbonatação e pela ação de cloretos. Para preencher tais fichas seria necessário realizar ensaios específicos. Para a carbonatação, foram ensaiados alguns elementos da mesoestrutura e da infraestrutura, conforme citado anteriormente, sendo possível conhecer os danos causados por essa manifestação patológica. Entretanto, foram desconsiderados os preenchimentos das células relacionadas aos danos causados pela ação do cloreto, devido a impossibilidade da realização de ensaios.

A metodologia inicialmente proposta por Castro (1994) previa a utilização dos valores do Grau de deterioração acima de 15, a qual denominou de danos expressivos, valores abaixo eram desconsiderados. Contudo, Euqueres (2011), em seu trabalho de dissertação, propôs considerar todos os valores de G_{de} para cada família. Ambas considerações foram utilizadas neste trabalho.

Para auxiliar às coletas dos dados de campo foram utilizadas tabelas retiradas do Manual de Aplicação da Metodologia GDE/UnB a Obra de Arte Especiais, uma câmera para registros fotográficos das patologias, e prancheta para preenchimento dos formulários de inspeção. Para a avaliação das estruturas, fez-se necessário a procura por patologias visualmente perceptíveis.

- **Considerações sobre os elementos estruturais da ponte**

Neste trabalho, não foi possível inspecionar todos os elementos estruturais citados na divisão de famílias, devido à dificuldade de acesso aos mesmos ou a inexistência de alguns elementos, como por exemplo os apoios de apoio.

Os elementos estruturais que não foram analisados, e a justificativa para não realizar a análise dos mesmos estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6: Elementos não analisados e por que não foram analisados.

Elementos	Justificativa
Alas	Inacessível
Aparelhos de Apoios	Inexistência
Cortinas	Inacessível
Transversinas	Inacessível

Fonte: Autor (2020).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados da avaliação, obtidos a partir da formulação da metodologia GDE/UnB adaptada por Verly (2015), além dos ensaios realizados *in loco* na ponte do Rio Apodi-Mossoró na BR-226 em Pau dos Ferros/RN.

A tabulação dos dados da metodologia obtidos em campo, assim como os dados dos ensaios realizados estão apresentados no Apêndice A deste trabalho.

5.1 DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO DA PONTE

Nas imagens abaixo estão ilustradas as condições em que a ponte se encontrava no período em que as inspeções foram realizadas.

Figura 18: Estado em que a ponte se encontra.



Fonte: Autor (2020).

Na Figura 18 está apresentada algumas das manifestações patológicas observadas durante o período de realização das inspeções. Nos pilares e lajes, os danos mais frequentes foram as manchas proveniente da umidade, fissuras e desagregação de concreto.

Foram identificadas em quase toda extensão das lajes manchas escuras, além de alguns pontos de eflorescência. Também foi possível identificar a configuração de flechas nos elementos que compõem as lajes, predominantemente nas lajes centrais, como é ilustrado na Figura 18.

Já nos blocos de coroamento predominaram a desagregação do concreto e as falhas de concretagem. Pode-se notar um aspecto mais poroso e áspero na superfície dos blocos, identificando que ocorreu um desgaste superficial. Tal desgaste expôs uma pequena parte da

armadura. Dessa forma notou-se que o cobrimento da estrutura não obedece às medições indicadas na norma ABNT NBR 6118 (2014) para a classe de agressividade ambiental na qual a ponte está inserida, de 20 milímetros.

Figura 19: Desagregação do concreto expondo a armadura do bloco de coroamento.



Fonte: Autor (2020)

5.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS *IN LOCO*

Neste item serão apresentados os resultados dos ensaios realizados em campo. Todos os ensaios seguiram os procedimentos descritos nas normas apresentadas no Capítulo 4 deste trabalho.

- **Resultados dos ensaios de esclerometria**

Conforme foi descrito no Item 4.5, o ensaio de esclerometria foi realizado em 3 pilares e 1 bloco de coroamento, a fim de determinar a estimativa da resistência superficial destes elementos e, analisar se atendem as resistências mínimas descritos nas normas vigentes.

Na Tabela 7 estão apresentados os valores dos golpes realizado em cada elemento e seus respectivos resultados.

Tabela 7: Ensaio esclerometrico.

PONTOS	ELEMENTOS ESTRUTURAL				I.E (Fabricante)
	P1	P6	P7	B4	Fator de Correção
1	42,0	28,0	28,0	30,0	0,976
2	39,0	24,0	33,0	36,0	
3	35,0	28,0	26,0	33,0	
4	40,0	27,0	28,0	34,0	
5	44,0	26,0	34,0	38,0	
6	42,0	25,0	37,0	34,0	
7	44,0	24,0	24,0	36,0	
8	42,0	34,0	26,0	30,0	
9	38,0	24,0	26,0	32,0	
10	42,0	28,0	26,0	36,0	
11	35,0	24,0	25,0	36,0	
12	45,0	24,0	26,0	36,0	
13	33,0	26,0	30,0	40,0	
14	33,0	21,0	24,0	38,0	
15	31,0	26,0	26,0	35,0	
16	32,0	24,0	28,0	38,0	
Média-I	38,6	25,8	27,9	35,1	
Limite Superior	42,4	28,4	30,7	38,6	
Limite Inferior	34,7	23,2	25,1	31,6	
Nova Média	39,4	25,6	27,0	35,1	
I.E (Corrigido(xFC))	38,5	24,9	26,3	34,3	

Fonte: Autor (2020)

Os golpes em vermelho indicados na Tabela 7 são os valores que ultrapassaram os limites superiores e inferiores, $\pm 10\%$ da média das leituras. Estes foram desconsiderados no cálculo da nova média, utilizando apenas os valores pertencentes ao intervalo dos limites. Em

seguida, esta nova média é multiplicada pelo fator de correção do aparelho, obtendo assim o Índice de Esclerometria Corrigido.

Entretanto, devido à falta de ensaio de calibração do esclerômetro, disponibilizado pela UFERSA e utilizado neste procedimento, o fator de correção do aparelho foi retirado da monografia de Sousa et al. (2018), pois trata-se do mesmo modelo que é utilizado pela instituição.

Foi observado no pilar P1 valores elevados em relação aos demais elementos. Aparentemente esse pilar apresenta um aspecto visual melhor efetivado, com acabamento superficial bem executado, sem muitos vazios e bem adensado. Também neste pilar, observou-se a presença de camadas distintas de argamassas, uma mais escura e bem adensada em relação a outra. A camada mais escura apresentou os valores de golpes mais elevados, por outro lado, a parte mais clara indicou valores mais baixos.

Foram observados nos pilares P6 e P7 valores mais baixos de Índice de Esclerometria em relação aos demais elementos ensaiados. Ao observar estes elementos, notou-se um aspecto mais poroso em sua superfície, agrupamentos dos agregados graúdos em um determinado local (nichos), e desgaste superficial (Figura 20).

Figura 20 - Desagregação do Pilar P6.

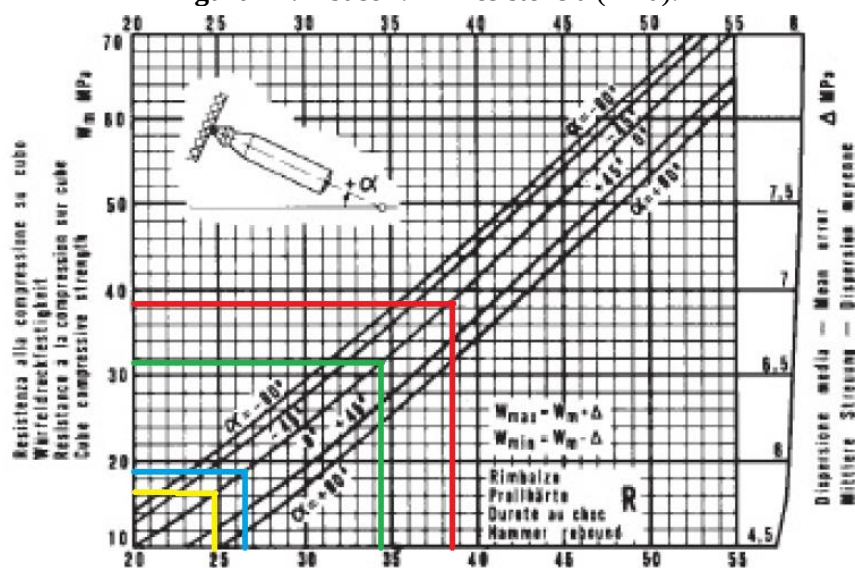


Fonte: Autor (2020)

Já o bloco de coroamento, mesmo tendo um aspecto áspero, apresentou valores de Índice de Esclerometria mais uniformes e elevados. Estes valores podem ser justificados pela possibilidade de que os impactos possam ter sido realizados em posição coincidente com a armadura do bloco.

Por fim, na Figura 21 está mostrado como foi relacionados os valores dos índices de esclerometria e suas respectivas estimativas da resistência superficial dos elementos ensaiados, em MPa, mostradas na Tabela 8.

Figura 21: Ábaco I.E x Resistencia (MPa).



Fonte: Manual de Controle Mod. 58-CO181/N.

Onde as interações entre o índice de esclerometria e resistência superficial do pilar P1 estão representados de vermelho, do bloco de coroamento B4 em verde, do pilar P7 em azul e do pilar P6 em amarelo.

Tabela 8: Valores da resistência superficial, em MPa

Resistência superficial (MPa)			
P1	P6	P7	B4
38,2	16,0	17,9	31,9

Fonte: Autor (2020).

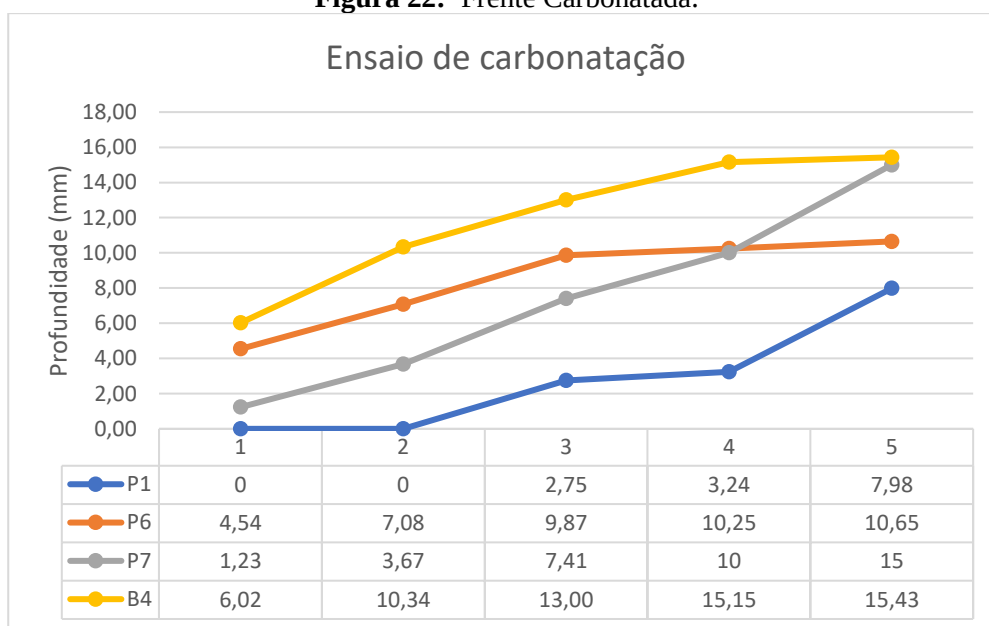
- **Ensaio de Carbonatação**

Conforme foi analisado no item 5.3, dos dez pilares que compõem a estrutura, apenas um apresentou um estado de deterioração médio: o pilar 6. Os demais apresentaram níveis baixos de deterioração. No entanto, os três em que o ensaio foi realizado apresentaram incidência de carbonatação, com profundidades de penetração semelhantes.

Por questão de segurança do próprio elemento, os sulcos feitos tiveram profundidade máxima de 15 milímetros. Na norma Italiana UNI 7928, aconselha-se abrir sulcos até a exposição das armaduras. A grande quantidade de agregados graúdos no concreto também dificultou a abertura da malha de 5x10 centímetros.

Contudo, foi possível medir cinco pontos de profundidade com paquímetro digital dentro de cada sulco. A Figura 22 ilustra o gráfico com as profundidades medidas nos quatros elementos citados.

Figura 22: Frente Carbonatada.



Fonte: Autor (2020).

De acordo com o gráfico ilustrado na Figura 22, pode-se identificar que o pilar P1 apresentou baixos níveis de frente de carbonatação, fato este que pode ser justificado pelo adensamento bem executado da peça, visivelmente perceptível, com baixo índice de vazios em sua superfície, reduzindo assim a entrada de dióxido de carbono em seu interior.

Notou-se que o bloco de coroamento B4 e o pilar P7 apresentaram frente de carbonatação até a profundidade máxima escarificada, fato este explicado pela quantidade de vazios em suas superfícies.

Outro fator que pode influenciar na penetração da carbonatação é a falta de água no leito do rio, devido ao longo período de estiagem. Medeiros (2015) observou em sua pesquisa que a pequena frente de carbonatação apresentada nas peças estruturais devido estarem submersos na maioria dos meses do ano, assim a água preenche os poros do concreto, interferindo na difusão do dióxido de carbono para o interior das peças.

Foi observado no pilar P6 medições até a profundidade de aproximadamente 1 centímetro devido ao surgimento da armadura da peça, mostrado na Figura 23.

Figura 23: Cobrimento deficiente, de aproximadamente 1 cm.



Fonte: Autor (2020).

A partir destes ensaios também foi possível calcular a estimativa do coeficiente de penetração do dióxido de carbono utilizando as medições realizadas em campo, utilizando a formulação desenvolvida por Tuutti (1982).

Como a quantidade de ensaios são poucos em relação a estrutura completa, ou seja, os pontos medidos não se configuram como uma amostra significativa, então, utilizou-se a profundidade mais desfavorável de cada elemento. Também foi considerado o tempo (T) na equação de 4 anos, período compreendido entre a sua inauguração, em 2016, até os dias atuais.

Assim, as taxas calculadas estão ilustradas na Tabela 9.

Tabela 9: Coeficientes de carbonatação.

Determinação do coeficiente de carbonatação (mm/ano^{0,5})			
T	ECO2	KCO2	Média
4	7,98	3,99	6,13
4	10,65	5,33	
4	15	7,50	

Fonte: Autor (2020).

5.3 ANÁLISE DOS GRAUS DE DETERIORAÇÃO DOS ELEMENTOS

A partir da obtenção dos graus de danos de cada elemento, conforme foi descrito no item 4.6, a metodologia classifica os elementos de acordo com o nível de deterioração apresentado e, recomenda intervenções para estes elementos.

Conforme já foi mencionado no item 4, a metodologia propõe medidas corretivas para os danos causados pelas patologias. Na Tabela 10, está descrito o nível de deterioração de cada

elemento analisado, sendo possível identificar quais são as partes mais danificadas da estrutura, consequentemente os que mais influenciaram nos resultados finais.

Tabela 10: Grau de deterioração dos elementos.

PILARES			GUARDA-CORPOS		
Elementos	Gde	Nível	Elementos	Gde	Nível
P1	12,36	Baixo	LE	36,17	Médio
P2	12,00	Baixo	LD	36,17	Médio
P3	0,00	Baixo	VIGAS		
P4	0,00	Baixo	V1	32,68	Médio
P5	12,00	Baixo	V2	8,35	Baixo
P6	38,40	Médio	V3	8,35	Baixo
P7	12,52	Baixo	V4	8,35	Baixo
P8	0,00	Baixo	V5	32,68	Médio
P9	8,00	Baixo	LAJES		
P10	0,00	Baixo	L1	72,63	Alto
BLOCO DE COROAMENTO			L2	72,63	Alto
B1	0,00	Baixo	L3	86,67	Sofrível
B2	4,00	Baixo	L4	86,67	Sofrível
B3	12,36	Baixo	L5	72,63	Alto
B4	35,59	Médio	L6	72,63	Alto
PISTA DE ROLAMENTO					
LE	113,79	Crítico			
LD	113,79	Crítico			

Fonte: Autor (2020).

Nota-se que os pilares, guarda-corpos, vigas e os blocos de coroamento apresentaram níveis de deterioração baixo e médio, ou seja, entre 0 e 50. Nestes casos, a metodologia utilizada indica uma intervenção de longo prazo, de no máximo 2 anos, para os elementos que apresentaram níveis médio de deterioração.

Figura 24: Sinais de desgaste na parte inferior da viga.



Fonte: Autor (2020).

Para os elementos que apresentaram níveis baixos, no caso a maioria dos elementos citados (Figuras 24 e 25), a metodologia considera que seus estados são aceitáveis, recomendando apenas manutenção preventiva.

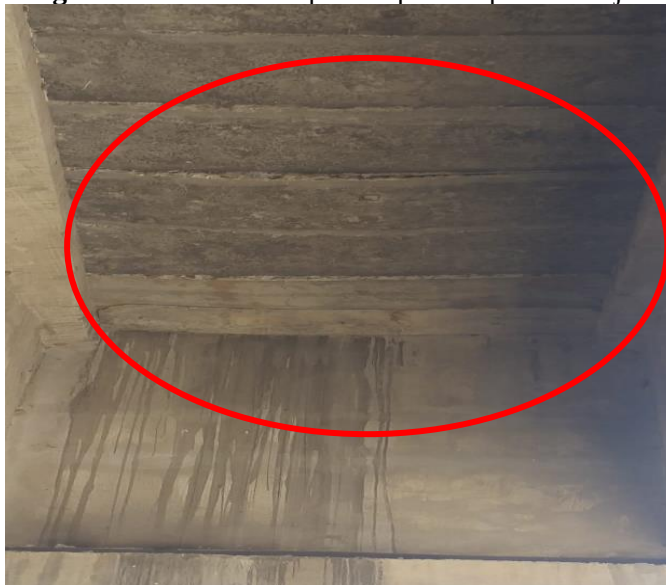
Figura 25: Sinais de desprendimento no guarda-corpos.



Fonte: Autor (2020).

Os elementos que mais influenciaram na classificação de deterioração da estrutura, foram as lajes e a pista de rolamento, apresentando níveis entre alto e crítico. As lajes, em sua maioria, apresentaram níveis altos de deterioração, fato este justificado pela presença de manchas escuras provenientes da umidade e infiltrações em quase toda sua extensão e formação de eflorescência. As lajes centrais apresentaram níveis mais elevados devido a formação de flechas perceptíveis ao olho nu, mostrado na Figura 26, causando desconforto a quem está analisado a estrutura, além dos danos já citados.

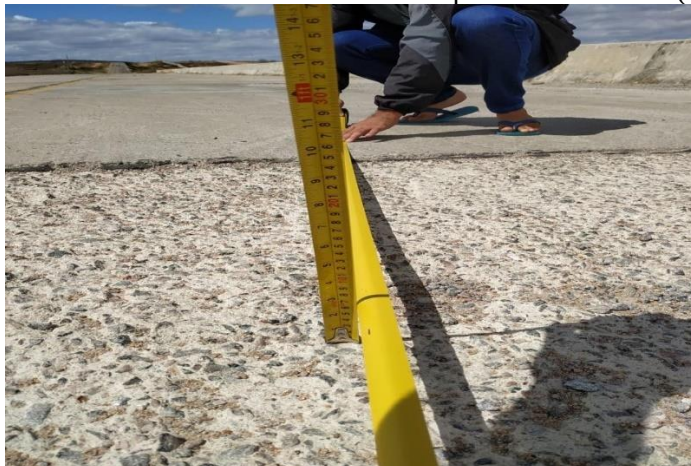
Figura 26: Flechas nas placas que compõem as lajes.



Fonte: Autor (2020).

A pista de rolamento foi a que mais influenciou no resultado final da pesquisa (mostrados nos itens 4.3.1 e 4.3.2), apresentou níveis de deterioração críticos, fato este explicado pelo desgaste superficial em quase toda extensão da ponte, pelo desgaste da sinalização, bem como pela formação de crateras, com aproximadamente 10 cm de profundidade (Figura 27), e de grande diâmetro.

Figura 27: Profundidade de uma cratera na pista de rolamento (10 cm).



Fonte: Autor (2020).

Nestes casos, a metodologia utilizada recomenda para os elementos que apresentaram níveis altos de deterioração intervenções em longo prazo de no máximo 1 ano. Para os elementos que apresentaram níveis sofríveis, recomenda-se realizar intervenções em médio prazo, até 6 meses e, para os elementos tiveram níveis classificados como crítico, a metodologia recomenda realizar inspeções especializadas e intervenções imediata.

Com base nos valores de G_{de} apresentados neste item, foi possível calcular o grau de deterioração das famílias dos elementos analisados a partir das formulações de Castro (1994) adaptado por Fonseca (2007) e, a metodologia apresentada por Verly (2015), demonstradas no item a seguir.

4.3.1 Cálculo do grau de deterioração pela metodologia de Castro (1994) adaptada por Fonseca (2007)

A metodologia desenvolvida por Castro (1994), buscou analisar os elementos que apresentassem danos superiores a 15, denominados como “danos expressivos”, exemplificado na Figura 28. As formulações que definem os valores dos graus de deterioração de metodologia desenvolvida por Castro (1994) foram adaptadas ao longo dos anos.

Figura 28: Descontinuidade da pista de rolamento (Dano Expressivo).



Fonte: Autor (2020).

Lopes (1998), Boldo (2002) e Fonseca (2007) propuseram adaptações nas formulações iniciais, a fim de adequar as mesmas levando em consideração a estrutura em análise e correções de incoerências nos resultados. Lopes (1998), gerou uma nova equação para o grau de deterioração dos elementos (G_{de}), enquanto Boldo (2002) e Fonseca (2007), apresentaram novas equações para o grau de deterioração das famílias (G_{df}).

A formulação usada neste trabalho foi a atualização mais recente da metodologia, Verly (2015), seguindo a ideia principal proposta por Castro (1994), onde são considerados apenas os “danos expressivos” apresentados na estrutura, desprezando os elementos que tiveram valores de G_{de} menores que 15.

Desta forma, a Tabela 11 indica os valores encontrados para cada família analisada e o resultado final do grau de deterioração da estrutura.

Tabela 11: Grau de deterioração Global segundo a idealização de Castro (1994)

Grau de Deterioração de uma Família de Elementos- G_{df}			
Elementos:	G_{df}	K	Fr
PILARES	38,40	192,00	5
BLOCO DE COROAMENTO	35,59	142,34	4
LAJES	116,70	466,80	4
VIGAS	40,03	200,13	5
GUARDA-CORPOS	44,30	44,30	1
PISTA DE ROLAMENTO	139,37	139,37	1

Calculo do Grau de Deterioração da Estrutura - G_d

83,67

Fonte: Autor (2020).

Assim, com base nos valores obtidos e com os conceitos estabelecidos por Castro (1994), o nível de deterioração da estrutura ficou no intervalo de 80 até 100, classificando assim a estrutura como sofrível, com recomendações propostas para realização de inspeção especializada e rigorosa e, intervenções em curto prazo, com duração máxima de até seis meses.

A estrutura apresentou um nível de deterioração alto devido desgaste apresentados na pista de rolamento, como mostra a Figura 29, grande número de manchas e infiltrações nas lajes, problemas estes que podem ser solucionados executando um sistema de drenagem eficiente ao longo da ponte.

Figura 29: Desgaste superficial da pista de rolamento.



Fonte: Autor (2020).

Os fatores de ponderação, assim como as equações utilizadas para o cálculo na adaptação de Fonseca (2007), foram propostos por Euqueres (2011) e adaptadas por Verly (2015), pois os fatores de relevância e equações presentes na metodologia de Fonseca (2007) são destinados a edificações, já na metodologia desenvolvidas pelos dois últimos autores citados são voltados para estruturas de pontes.

4.3.2 Cálculo do grau de deterioração pela metodologia de GDE/UnB adaptada por Euqueres (2011) e por Verly (2015).

Euqueres (2011) em seu trabalho considerou que todos os valores de danos dos elementos da estrutura fossem considerados nos cálculos na determinação do G_{df} . A proposta apresentada por Euqueres leva em consideração que todos os elementos danificados, mesmo valores de G_{de} menores que 15 (desprezíveis), contribuam para a avaliação global da estrutura.

Posteriormente, Verly (2015) em seu trabalho utilizou as ideias consideradas por Euqueres (2011), porém modificou a equação do grau de deterioração da estrutura (G_d). Como a pesquisa utilizada neste trabalho tem como base a mais recente adaptação, utilizou-se as equações e considerações descritas por Verly (2015), apresentadas anteriormente.

Tabela 12: Grau de deterioração Global segundo a idealização de Verly (2015).

Grau de Deterioração de uma Família de Elementos- Gdf			
Elementos:	Gdf	K	Fr
PILARES	48,53	242,64	5
BLOCO DE COROAMENTO	40,81	163,23	4
LAJES	116,70	466,80	4
VIGAS	41,83	209,16	5
GUARDA-CORPOS	44,30	44,30	1
PISTA DE ROLAMENTO	139,37	139,37	1

Calculo do Grau de Deterioração da Estrutura - Gd
84,32

Fonte: Autor (2020).

Assim como na formulação proposta por Castro (1994) e Adaptada por Fonseca (2007), o valor obtido caracterizou a estrutura com alto nível de deterioração, onde o G_d pertence ao intervalo de 80 até 100, classificando-a como sofrível e, com recomendações propostas para realização de inspeção especializada e rigorosa e, intervenções em curto prazo, com duração máxima de até seis meses.

Entretanto, observou-se que mesmo com a adição dos elementos que apresentaram danos com valores de G_{de} abaixo de 15, o resultado final não teve grandes alterações, com acréscimo de apenas 1% em relação ao valor obtido considerando apenas os “danos expressivos”. comprovando a afirmação feita por Verly (2015), que a consideração de todos os elementos de uma estrutura não reduziria o valor de seu grau de deterioração.

6 CONCLUSÃO

A pesquisa visou um diagnóstico patológico e estrutural da ponte sobre o rio Apodi-Mossoró, levando em consideração seu tempo de uso e o meio de agressividade na qual está inserida. Logo, diante do exposto, pode-se obter as seguintes conclusões:

- A ponte em estudo encontra-se em estado sofrível, segundo a classificação determinada pela metodologia GDE/UnB, necessitando de inspeções especializadas e rigorosas e, intervenções de curto prazo, ou seja, em no máximo seis meses.
- As lajes e a pista de rolamento foram os elementos que mais contribuíram para a avaliação global da estrutura. Foi identificado nestes elementos um grande nível de desgaste superficial (pista de rolamento) e muitas manchas causadas pela umidade e infiltrações (lajes).
- Os elementos da mesoestrutura e infraestrutura não apresentaram índices elevados de deterioração, exceto os pilares P6 e P7 e o bloco de coroamento B1. Entretanto, não levam tanto risco a estrutura global.
- No ensaio de profundidade de carbonatação, foram verificadas medições de até 15 milímetros, profundidade máxima dos sulcos, mesmo a norma ABNT NBR 6118/2014 identificando o ambiente como rural de baixa concentração de dióxido de carbono (CO_2). A presença de um lixão a céu aberto localizado a aproximadamente 2 quilômetros de distância da ponte pode aumentar as taxas de dióxido de carbono no ambiente na qual a estrutura está inserida, devido a incineração dos resíduos sólidos neste local.
- Da realização do ensaio de esclerometria, houve uma variação de resistência superficial entre os elementos das extremidades e centrais. Estes últimos, apresentaram resistência menores, de 16 e 17 MPa, devido a erros de execução como falhas no traço e adensamento do concreto.

Conclui-se, por fim, que a metodologia GDE/UnB, para fins desta pesquisa, apresentou resultados coerentes com o estado da ponte em questão. O alto valor de deterioração global da estrutura foi proveniente das condições precárias da pista de rolamento e lajes, como identificados visualmente em campo.

Vale destacar que a falta de informações sobre os processos construtivos adotados na época da construção e falta de equipamentos adequados para a realização de alguns ensaios dificultaram o processo de produção do trabalho. Entretanto, concentrando esforços em

produções científicas existentes sobre o assunto, foi possível produzir um trabalho final de qualidade e rico em informações.

Dessa forma, como sugestão para trabalhos futuros, pode-se citar a aplicação da metodologia GDE/UnB em todos os elementos da estrutura, tendo em mãos os valores de profundidade de carbonatação e presença de íons cloreto nos seus interiores; realizar mais ensaios, como o de penetração de íons cloreto e reproduzir as manifestações patológicas da pista de rolamento, como panelas e descontinuidades, em um software de análise estrutural, a fim de comparar como as cargas são distribuídas na estrutura com estes defeitos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 7584: Concreto endurecido — **Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

BOETTGER, Ana Elisa et al. **Análise dos Métodos de Avaliação de Pontes do Brasil, Estados Unidos e Japão Aplicados a um Estudo de Caso**. 2018.

BOLDO, P. **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002. 295p.

CARDOSO, Lucas Bertolino. **Análise das manifestações patológicas em pontes e viadutos no litoral norte do Rio Grande do Sul**. 2018.

CASTRO, E. K. (1994) **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília, 129 p. Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 178p.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. **Glossário de Termos Técnicos Rodoviários**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2ª ed., Rio de Janeiro, 2017.

EL DEBS, Mounir Khalil; TAKEYA Toshiaki. **Introdução às pontes de concreto**. Apostila de aula – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-015A/15, Departamento de Engenharia

EUQUERES, P. **Metodologia de inspeção de pontes de concreto armado**, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2011. 168 p.

FONSECA, R. P. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007. 213 p.

GOMES, Marcos Eliade Alves; XAVIER, Thássio Josué Barros; FRANCISCO, Renato Apolinário. **LEVANTAMENTO E CADASTRAMENTO DE PATOLOGIAS**

ESTRUTURAIS UTILIZANDO FOTOGRAFIAS TERMOGRÁFICAS E DRONES NA COMPOSIÇÃO DE BANCO GEOGRÁFICOS. **Programa de Iniciação Científica-PIC/UnICEUB-Relatórios de Pesquisa**, n. 3, 2018.

HELENE, P., (2001). **Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto NB/2001**. WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. Novembro. São José dos Campos.

LANER, Felice José. **Manifestações Patológicas nos Viadutos, Pontes e Passarelas do Município de Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LENCIONI, Julia Wippich. **Proposta de Manual Para Inspeção de Pontes e Viadutos em Concreto Armado - Discussão Sobre a Influência dos Fatores Ambientais na Degradação de Obras-de-Arte Especiais**. 2005. Tese (Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeroportuária). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

LOPES, B. A. R. **Sistema de manutenção predial para grades estoques de edifícios: Estudo para inclusão do componente “Estrutura de Concreto”**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1998. 308 p.

MARCHETTI, O. **Pontes de concreto armado**. 3. ed. São Paulo-SP: Blucher, 2008.

MEDEIROS, Alisson Gadelha de. **Análise de durabilidade da ponte do Rio do Carmo utilizando ensaios não destrutivos, norma DNIT e a metodologia GDE/UNB**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; ANDRADE, Jairo José de Oliveira; HELENE, Paulo. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto**. Concreto: ciência e tecnologia, v. 1, p. 773-808, 2011.

PFEIL, W. **Pontes: curso básico – projeto, construção e manutenção**. Rio de Janeiro: Campus, 1983. priorização de intervenções em obras de arte especiais. Dissertação de Mestrado em engenharia civil.

ROQUE, J. A.; MORENO JUNIOR, A. L. **Considerações sobre vida útil do concreto**. São Carlos, 2005.

SOUSA, Alex Junio Lima de; SANTOS, Amanda Stefani Ferreira Peres dos; SANTOS, Jaqueline Antonio dos. **Manifestação patológicas em estruturas de concreto armado: Um estudo de caso**. 2018. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de

Engenharia, Universidade Paulista, Goiânia, 2018. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/66912437/tcc-ii-manifestacoes-patologicas-em-estruturas-de-concreto-armado>>. Acesso em: 23 jan. 2020

SOUZA, RHF de; RIPPER, T. **Patologia. Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. Notas de aula (Pós-graduação em engenharia civil)**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

STUCCHI, F. R. **Pontes e grandes estruturas**. Apostila. Escola Politécnica, Departamento de estruturas e fundações, São Paulo, 2006.

TUUTTI, K. **Corrosion steel in concrete**. Swedish Cement and Concrete. Research Institute, Stockholm, 1982.

VASCONCELOS, Flávio de Oliveira et al. **Análise das manifestações patológicas em pontes de concreto armado: estudo de caso**. 2018.

VERLY, Rogério Calazans. **Avaliação de metodologias de inspeção como instrumento de priorização de intervenções em obras de arte especiais**. 2015.

VILAS BOAS, E.L.B. et. al. CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO -CBC2018, 60., 2018, Brasília-df. APLICAÇÃO DE METODOLOGIA GDE/UnB EM UMA EDIFICAÇÃO HABITACIONAL: **ESTUDO DE CASO EM ÁGUAS LINDAS DE GOIÁS- GO**. Brasília-df: Ibracon, 2018. 25 p.

ANEXO 1

Tabelas de classificação dos fatores de intensidade e de ponderação dos danos.

Tabela A.1: Classificação dos danos e fatores de intensidade (F_i)

Tipos de danos	Valores de F_i
Carbonatação	1 → localizada, com regiões com $\text{pH} < 9$, sem afetar as armaduras. 2 → localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco. 3 → localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido. 4 → generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.
Cobrimento deficiente	1 → menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura. 2 → menor que o previsto em norma, permitindo a localização visual da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões. 3 → deficiente, com armaduras expostas em extensões significativas.
Contaminação por cloretos	2 → elementos abrigados sem umidade 3 → elementos no exterior sem umidade 4 → ambientes úmidos.
Corrosão de armaduras	2 → manifestações leves, pequenas manchas. 3 → grandes manchas e/ou fissuras de corrosão. 4 → corrosão acentuada da armadura principal, com perda relevante de seção ($> 20\%$ do diâmetro).
Desagregação	2 → início de manifestação. 3 → manifestações leves, início de estofamento do concreto. 4 → por perda acentuada de seção e esfrelamento do concreto.
Deslocamento por empuxo	3 → deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, estável. 4 → deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, instável.
Desplacamento	2 → pequenas escamações do concreto. 3 → lascamento de grandes proporções, com exposição da armadura. 4 → lascamento acentuado com perda relevante de seção.
Desvios de Geometria	2 → pilares e cortinas com excentricidade $e \leq h/100$ ($h = \text{altura}$). 3 → pilares e cortinas com excentricidade $h/100 \leq e < h/50$. 4 → pilares e cortinas com excentricidade $e \geq h/50$.
Eflorescência	1 → início de manifestações. 2 → manchas de pequenas dimensões. 3 → manchas acentuadas, em grandes extensões. 4 → grandes formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).
Falha de concretagem	1 → superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça. 2 → significativa em relação às dimensões da peça. 3 → significativa em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura. 4 → perda relevante da seção transversal da peça ($> 20\%$ da área).
Fissuras	1 → abertura menores do que as máximas previstas em norma. 2 → estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma. 3 → aberturas excessivas; estabilizadas. 4 → aberturas excessivas; não estabilizadas.

Tabela A.2: Classificação dos danos e fatores de intensidade (Fi)

Tipos de danos	Valores do Fator de Intensidade do Dano
Flechas	1 → não perceptíveis a olho nu. 2 → perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos na norma. 3 → superiores em até 40% às previstas na norma. 4 → excessivas.
Impermeabilização deficiente	2 → danos na camada protetora e/ou perda de elasticidade do material da impermeabilização. 3 → descontinuada, degradada em alguns pontos (pontos de infiltração). 4 → degradação acentuada, com perda relevante da estanqueidade.
Infiltração de água	1 → indícios de umidade. 2 → pequenas manchas. 3 → grandes manchas. 4 → generalizada.
Manchas	2 → manchas escuras de pouca extensão, mas significativas (< 50% da área visível do elemento estrutural). 3 → manchas escuras de grande extensão (>50%). 4 → manchas escuras em todo o elemento estrutural (100%).
Obstrução de juntas de dilatação	2 → perda de elasticidade do material da junta; início de fissuras paralelas às juntas nas lajes e paredes adjacentes. 3 → presença de material não compressível na junta; incidência significativa de fissuras paralelas às juntas nas lajes e paredes adjacentes. 4 → fissuras em lajes e paredes adjacentes às juntas, com prolongamento em vigas e/ou pilares de suporte.
Recalques	2 → indícios de recalque pelas características das trincas na alvenaria; 3 → recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais. 4 → recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.
Sinais de esmagamento do concreto	3 → desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da estrutura; fissuras diagonais isoladas. 4 → fissuras bi-diagonais, com lascamento e/ou esmagamento do concreto por cisalhamento-compressão, com perda substancial de material; exposição e início de flambagem de armaduras.

Tabela A.3: Classificação de fissuras em elementos de concreto armado e fatores de ponderação indicados (F_p)

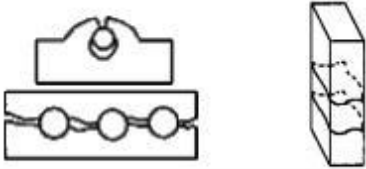
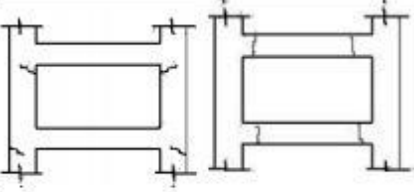
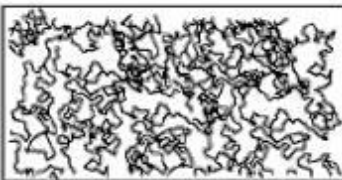
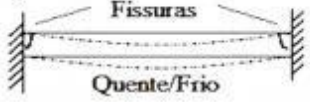
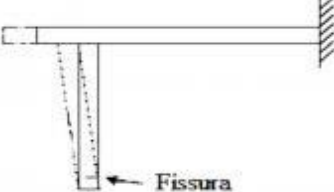
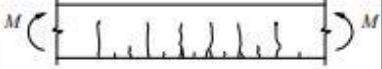
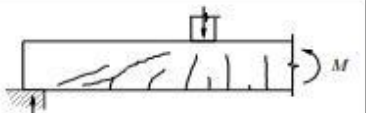
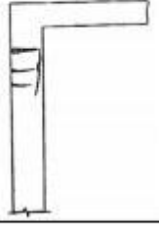
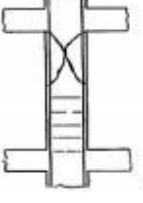
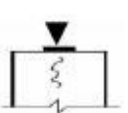
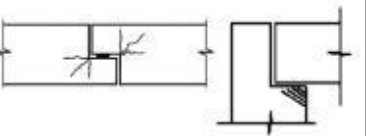
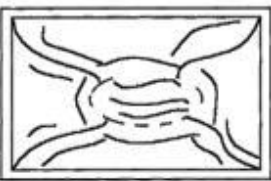
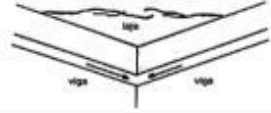
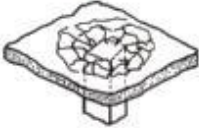
	Fissuras*	Descrição	Croquis	F_p
ESTADO PLÁSTICO	De retração plástica do concreto	- comuns em lajes e paredes. - aproximadamente paralelas, superficiais e afastadas entre si de 0,3 a 1 m.		2
	De assentamento do concreto	- sobre as armaduras. - em pilares, ficam abaixo dos estribos. - interação com armaduras vizinhas.		3
	De movimentação de fôrmas	- indicam posicionamento e/ou fixação incorretos ou resistência insuficiente de fôrmas/escoramentos		3
ESTADO ENDURECIDO	De retração do concreto por secagem	- fissuras em pilares e/ou vigas, por diferença grande de rigidezes (a). - aspecto de mosaico em lajes e paredes, podendo aparecer em ambas as faces (b). - indicam restrição de movimentos. - profundidade reduzida. - aberturas < 0,1 a 0,2 mm.	 (a)  (b)	3
	Mapeadas	- mais visíveis em superfícies lisas de lajes e paredes. - abertura e extensão reduzidas. - superfícies de concreto com desempenho excessivo. - danos só estéticos, em geral		2
	De variações de temperatura	- em geral, normais ao eixo de elementos lineares, - indicam restrição de movimento por mau funcionamento de juntas de dilatação ou sua ausência.	 	3

Tabela A.4: Classificação de fissuras em elementos de concreto armado e fatores de ponderação indicados (F_p)

	Fissuras*	Descrição	Croquis	F_p
ERROS DE PROJETO/ EXECUÇÃO OU CARGAS EXCESSIVAS	De flexão	- normais ao eixo, em trechos de momento fletor elevado e com boa aderência aço-concreto.		4
	De força cortante e flexão	- mesma inclinação nas duas faces. - podem entrar na zona de compressão e se dirigir aos apoios.		4
	De flexão, cortante e torção	- inclinações diferentes nas faces laterais, com menor abertura da fissura em uma das faces.		4
	De flexo-tração em pilares	- normais ao eixo do pilar na face tracionada e paralelas na face comprimida: podem indicar esmagamento do concreto. - mais próximas de extremidades com maior momento.		5
	De compressão	- paralelas ao eixo ou bi-diagonais no centro iminência de ruptura. - indicam espaçamento excessivo ou deslocamento de estribos.		5
	De carga concentrada em área reduzida	- em apoios de pontes, estruturas pré-moldadas e apoios indiretos - indicam armadura deficiente de fretagem e mau detalhamento		3
	Em apoios do tipo Gerber (vigas e pilares)	- comuns em pontes e estruturas pré-moldadas. - indicam deficiência ao movimento em aparelhos de apoio e/ou detalhamento inadequado.		3
	De flexão em lajes	- na face inferior, saindo dos cantos e paralelas a bordos com continuidade ou vãos maiores. - na face superior, paralelas a bordos com continuidade.		4
	De momentos volventes	- em cantos de lajes extremas, podendo surgir nas duas faces. - influenciadas por variações de temperatura e retração.		3

	Fissuras*	Descrição	Croquis	F_p
	De punção	- traçado circunferencial e/ou radial em torno do pilar.		5

APÊNDICE A

Ficha descritiva

Dados básicos			
Nome da OAE: Ponte sobre o rio Apodi-Mossoró			Data da inspeção: 06/ 02/ 2020
Cidade mais próxima: Pau dos Ferros			UF: RN
Coordenadas GPS:	Altitude (m): 196	Latitude (S) (°): 6° 5' 41,4"	Longitude (W) (°): 38° 11' 52,3"
Localização (km): BR – 226, km 309			
Natureza da transposição: Ponte Viaduto sobre rodovia Viaduto sobre ferrovia Passagem Inferior			
Sistema construtivo: Moldado no local Pré-moldado Balanços sucessivos Outro			
Comprimento (m): 200 metros		Largura (m): 10 metros	
Classe de Agressividade Ambiental (NBR 6118:2014): I II III IV			
Projetista: Sem Informação			
Construtor: Sem Informação			
Ano da construção: 2016			
Características da região: Plana Ondulada Montanhosa			
Traçado: Tangente Curvo			
Características dos vãos:			
Número de vãos: 6	Descrição dos vãos: Com vão de aproximadamente 20 metros.		
Responsável pela inspeção: Victor Ezequiel Leite Dedes			
Nome: Victor Ezequiel Leite Dedes			
Formação: Graduando em Engenharia Civil			
Empresa: Universidade Federal Rural do Semi-Árido			

1. Valores atribuídos para os Fatores de Ponderação (Fp) e os Fatores de Intensidade (Fi)

Tabela A - Fatores de Ponderação e Intensidade para a família dos pilares

Família:		Fatores de ponderação																		
PILARES		Elementos																		
		Fi									Fp									
Danos observados:	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Carbonatação	2	0	0	0	0	2	2	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Cobrimento Deficiente	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Contaminação por Cloretos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Corrosão das Armaduras	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Desagregação	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Desplacamento	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Desvio de Geometria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Eflorescência	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Falha de concretagem	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Fissuras	2	2	0	0	2	2	2	0	2	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Manchas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Recalques	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Sinais de Esmagamento	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Umidade	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Tabela A2 - Fatores de Ponderação e Intensidade para a família dos blocos de coroamento

Família:		Fatores de ponderação							
BLOCO DE COROAMENTO		Elementos							
		Fi				Fp			
Danos observados:		B1	B2	B3	B4	B1	B2	B3	B4
Carbonatação		0	0	0	2	3	3	3	3
Cobrimento Deficiente		0	0	2	0	3	3	3	3
Contaminação por Cloretos		0	0	0	0	4	4	4	4
Corrosão das Armaduras		0	0	2	0	5	5	5	5
Desagregação		0	0	0	3	3	3	3	3
Desplacamento		0	0	0	2	3	3	3	3
Desvio de Geometria		0	0	0	0	0	0	0	0

Eflorescência	0	0	0	0	2	2	2	2
Falha de concretagem	0	0	2	2	3	3	3	3
Fissuras	0	1	0	2	5	5	5	5
Manchas	0	0	0	0	0	0	0	0
Recalques	0	0	0	0	5	5	5	5
Sinais de Esmagamento	0	0	0	0	5	5	5	5
Umidade	0	0	0	0	3	3	3	3

Tabela A3 - Fatores de Ponderação e Intensidade para a família das lajes

Família:	Fatores de ponderação											
LAJES	Elementos											
	Fi						Fp					
Danos observados:	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Carbonatação	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3
Cobrimento Deficiente	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3
Contaminação por Cloretos	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3
Corrosão das Armaduras	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5
Desagregação	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3
Desplacamento	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3
Flechas	2	2	3	3	2	2	5	5	5	5	5	5
Eflorescência	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Falha de concretagem	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2
Fissuras	0	0	0	0	0	0	2	3	2	3	3	3
Manchas	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
Infiltração de água	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
Sinais de Esmagamento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Umidade	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela A4 - Fatores de Ponderação e Intensidade para a família das vigas

Família:	Fatores de ponderação									
VIGAS	Elementos									
	Fi					Fp				
Danos observados:	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5
Carbonatação	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3
Cobrimento Deficiente	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3
Contaminação por Cloretos	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4
Corrosão das Armaduras	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5
Desagregação	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3
Desplacamento	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
Flechas	1	1	1	1	1	5	5	5	5	5
Eflorescência	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Falha de concretagem	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2

Fissuras	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4
Manchas	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
Recalques	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sinais de Esmagamento	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5
Umidade	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela A5 – Fatores de Ponderação e Intensidade para a família do guarda-corpos

Família:	Fatores de ponderação			
GUARDA-CORPOS	Elementos			
	Fi		Fp	
Danos observados:	LE	LD	LE	LD
Carbonatação	0	0	3	3
Cobrimento Deficiente	0	0	3	3
Contaminação por Cloretos	0	0	4	4
Corrosão das Armaduras	0	0	5	5
Desagregação	0	0	3	3
Desplacamento	0	0	3	3
Desvio de Geometria	0	0	0	0
Eflorecência	0	0	2	2
Falha de concretagem	0	0	2	2
Fissuras	2	2	3	3
Manchas	0	0	3	3
Recalques	0	0	0	0
Sinais de Esmagamento	3	3	4	4
Umidade	0	0	0	0

Tabela A6 – Fatores de Ponderação e Intensidade para a família da pista de rolamento

Família:	Fatores de ponderação			
PISTA DE ROLAMENTO	Elementos			
	Fi		Fp	
Danos observados:	LE	LD	LE	LD
Descontinuidade	2	2	5	5
Desgaste Superficial	4	4	5	5
Desgaste da sinalização	2	2	5	5

2. Valores do Grau do Dano

Tabela B – Grau de dano dos pilares

Grau de Dano - Gd									
Elementos									
PILARES									
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
4,8	0	0	0	0	4,8	4,8	0	0	0
0	0	0	0	0	4,8	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	8	0	0	0	0
0	0	0	0	4,8	4,8	0	0	0	0
4,8	0	0	0	0	24	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	3,2	3,2	3,2	0	0	0
0	0	0	0	0	2,4	2,4	0	0	0
8	8	0	0	8	8	8	0	8	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	8	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela B2 –Grau de dano dos blocos de coroamento

Grau de Dano - Gd			
Elementos			
BLOCO DE COROAMENTO			
B1	B2	B3	B4
0	0	0	4,8
0	0	4,8	0
0	0	0	0
0	0	8	0
0	0	0	24
0	0	0	4,8
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	4,8	4,8
0	4	0	8
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0

Tabela B3 – Grau de dano das lajes

Grau de Dano - Gd					
Elementos					
LAJES					
L1	L2	L3	L4	L5	L6
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
8	8	40	40	8	8
3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
60	60	60	60	60	60
4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Tabela B4 – Grau de dano das vigas

Grau de Dano - Gd				
Elementos				
VIGAS				
V1	V2	V3	V4	V5
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
24	4,8	4,8	4,8	24
4	4	4	4	4
1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
0	0	0	0	0
3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

Tabela B5 – Grau de dano do guarda-corpos

Grau de Dano - Gd	
Elementos	
GUARDA-CORPOS	
LE	LD
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
4,8	4,8
0	0
0	0
32	32
0	0

Tabela B6 – Grau de dano da pista de rolamento

Fatores de ponderação	
Elementos	
PISTA DE ROLAMENTO	
LE	LD
8	8
100	100
8	8