



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
GUSTAVO VIEIRA DA SILVA
LARISSA GASSENFERTH

**LEVANTAMENTO DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS ENCONTRADOS NA
PONTE NEREU RAMOS E SUGESTÃO DE POSSÍVEIS MEIOS DE
RECUPERAÇÃO**

Tubarão
2019

**GUSTAVO VIEIRA DA SILVA
LARISSA GASSENFERTH**

**LEVANTAMENTO DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS ENCONTRADOS NA
PONTE NEREU RAMOS E SUGESTÃO DE POSSÍVEIS MEIOS DE
RECUPERAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
do Sul de Santa Catarina como requisito parcial
à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof^ª. Daiana Saviam da Silva, Esp.

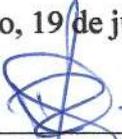
Tubarão
2019

GUSTAVO VIEIRA DA SILVA
LARISSA GASSENFERTH

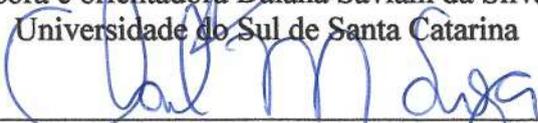
**LEVANTAMENTO DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS ENCONTRADOS NA
PONTE NEREU RAMOS E SUGESTÃO DE POSSÍVEIS MEIOS DE
RECUPERAÇÃO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 19 de junho de 2019.



Professora e orientadora Daiana Saviam da Silva, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Charles Mendes de Souza, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Maurício Alberto Büchele Motta, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Aos meus pais, Conceição Aparecida e Luiz, que sempre me incentivaram a continuar estudando e fizeram de tudo para contribuir com a minha graduação. A minha companheira, Larissa, que foi meu abrigo nos momentos mais difíceis.

(Gustavo Vieira da Silva)

Aos meus pais, Adalberto e Leodemara, que batalharam constantemente para proporcionar uma boa educação às suas filhas. Impulsionando e incentivando cada decisão que tomei até hoje em busca dos meus sonhos.

(Larissa Gassenferth)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaríamos de agradecer a Deus pelas oportunidades de aprendizado que nos foram dadas, acreditamos que esteve presente iluminando nosso caminho tanto nos momentos felizes como difíceis.

Agradecemos imensamente à nossa família, nossa base, os quais nos apoiaram e incentivaram a perseguir nossos sonhos, hoje transformados em objetivos alcançáveis. Acompanharam todas as dificuldades de perto, sempre auxiliando. Com a mais completa certeza, podemos dizer que tornaram os dias mais brilhantes e alegres.

Finalmente, mas não menos importante, agradecemos a nossa orientadora, Daiana Saviam da Silva, por toda dedicação e atenção. Ao coordenador da disciplina do trabalho de conclusão de curso, Rennan Medeiros, e demais profissionais da área, que compartilharam seus conhecimentos, nos ajudando aprimorar como futuros profissionais em todo o percurso acadêmico realizado.

“Não importa o que aconteça, continue a nadar.” (Graham Walters; Procurando Nemo, 2003)

RESUMO

As manifestações patológicas estão presentes em praticamente todas as construções de engenharia civil. Em obras de arte especiais essas anomalias se tornam ainda mais evidentes, pois se encontram em ambientes geralmente mais agressivos. Entretanto, existem maneiras de evitar o surgimento desses problemas através de manutenções periódicas. Infelizmente na maioria das vezes com o passar dos anos esses cuidados são deixados de lado, especialmente em nosso país em relação às obras públicas onde os problemas patológicos acabam se desenvolvendo e agravando-se em meio a estrutura. A ponte Nereu Ramos, localizada na cidade de Tubarão/SC se enquadra nessa situação, em 80 anos a ponte nunca recebeu manutenções e apresenta falhas patológicas em diversos pontos. Além da idade, agravantes tornam o caso mais preocupante, como o aumento no fluxo de veículos pesados no decorrer dos anos, os quais provavelmente não foram previstos em projeto originalmente e a implantação de um semáforo na saída do tabuleiro da ponte, adicionando cargas de frenagem e aceleração. Tendo como embasamento referenciais teóricos publicados por especialistas na área de Patologia, em conjunto com inspeções visuais e fotográficas das doenças existentes, foi possível realizar um levantamento das manifestações patológicas de maior gravidade e extensão presentes na obra e sugerir possíveis meios de recuperação. Por meio da aplicação de um questionário, direcionado à engenheiros civis das áreas de Estrutura e Patologia, desenvolveu-se um ponto de vista baseado na experiência desses especialistas. A partir de uma compilação de resultados obtida através das inspeções e o referencial teórico, em conjunto com a análise desses profissionais, elaborou-se um mapeamento da localização dos problemas patológicos mais evidentes e graves na ponte, indicando prováveis mecanismos de ocorrência, ensaios a serem realizados para a confirmação dos mesmos e sugestão de métodos de recuperação.

Palavras-chave: Ponte. Problemas patológicos. Mecanismos de ocorrência. Recuperação.

ABSTRACT

Pathological manifestations are present in virtually all civil engineering constructions. In special works of art these anomalies become even more evident, since they are found in generally more aggressive environments. However, there are ways to prevent these problems from occurring through periodic maintenance. Unfortunately most of the time over the years this care has been neglected, especially in our country in relation to public works where the pathological problems end up developing and aggravating in the middle of the structure. The bridge Nereu Ramos, located in the city of Tubarão / SC fits in this situation, in 80 years the bridge has never received maintenances and presents pathological faults in several points. In addition to age, aggravating factors make the case more worrying, such as the increase in the flow of heavy vehicles over the years, which were probably not originally foreseen in the project and the deployment of a traffic light at the exit of the bridge board, adding braking loads and acceleration. Based on theoretical references published by specialists in the field of pathology, together with visual and photographic inspections of existing diseases, it was possible to carry out a survey of pathological manifestations of greatest severity and extent present in the work and suggest possible means of recovery. Through the application of a questionnaire, directed to civil engineers in the areas of Structure and Pathology, a point of view was developed based on the experience of these specialists. From a compilation of results obtained through the inspections and the theoretical reference, together with the analysis of these professionals, a mapping of the location of the most evident and serious pathological problems in the bridge was elaborated, indicating probable mechanisms of occurrence, tests to be performed to confirm them and suggest recovery methods.

Keywords: Bridge. Pathological problems. Mechanisms of occurrence. Recovery

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ponte construída naturalmente por um tronco de árvore caído.....	24
Figura 2 – Ponte Fabrício em Roma.....	24
Figura 3 – Ponte de madeira localizada no município de Paranaíba - MS.....	25
Figura 4 – Ponte Sant’Ana sobre o Rio Piabanha	25
Figura 5 – Ponte Anita Garibaldi.....	26
Figura 6 – Elementos constituintes de uma ponte	27
Figura 7 – Exemplo de pontes ortogonais e esconsas	29
Figura 8 – Exemplo de ponte curva.....	29
Figura 9 – Exemplo de ponte em nível.....	29
Figura 10 – Exemplo de pontes retilíneas e curvilíneas	30
Figura 11 – Exemplo de ponte com pista de rolamento em posição superior.....	30
Figura 12 – Exemplo de ponte com tabuleiro em eixo intermediário	31
Figura 13 – Exemplo de ponte tabuleiro em posição inferior	31
Figura 14 – Juntas de dilatação.....	36
Figura 15 – Fissura típica de assentamento plástico.....	42
Figura 16 – Fissura típica de retração plástica do concreto.....	42
Figura 17 – Fissuras e trincas precoces	43
Figura 18 – Fissuras e trincas de retração e/ou intempéries localizadas na alma.....	43
Figura 19 – Trincas e/ou fissuras típicas provocadas pela corrosão de armaduras	44
Figura 20 – Fissuras de retração na alma da viga.....	44
Figura 21 – Fissuras típicas de flexão, força cortante, variação de temperatura e/ou retração, impedidas ou não	46
Figura 22 – Corte de concreto mostrando a profundidade de remoção.....	57
Figura 23 – Aspecto final da cavidade na intervenção de corte do concreto	58
Figura 24 – Procedimento de preenchimento da fissura a começar pelos tubos inferiores até o último tubo superior	60
Figura 25 – Selagem de fendas com abertura entre 10mm e 30mm.....	61
Figura 26 – Vedação de fendas de grande abertura utilizando mastique	62
Figura 27 – Vedação de fendas de grande abertura utilizando neoprene	62
Figura 28 – Reparo de fissura feito por costura.....	63
Figura 29 – Reposição da seção original de aço por adição de novas barras	66
Figura 30 – Reposição da seção transversal original através da adição de novas barras	67

Figura 31 – Procedimento de aplicação das folhas flexíveis de fibra de carbono.....	68
Figura 32 – Costura de fissuras por protensão exterior	69
Figura 33 – Inibição de deformações por aplicação de protensão exterior	70
Figura 34 – Redistribuição de esforços através de protensão exterior	70
Figura 35 – Reforço de vigas à flexão, por adição de aço protendido	71
Figura 36 – Criação de apoios adicionais através de protensão exterior.....	71
Figura 37 – Ponte Nereu Ramos na década de 50	72
Figura 38 – Pontes Heriberto Hulse e Nereu Ramos.....	73
Figura 39 – Ponte Nereu Ramos em 2007	74
Figura 40 – Armadura exposta sob uma das longarinas	78
Figura 41 – Armadura exposta sob a outra longarina da ponte	78
Figura 42 – Armaduras expostas nos pilares centrais da estrutura.....	79
Figura 43 – Corrosão e eflorescência registradas sob uma das juntas de dilatação	81
Figura 44 – Armadura exposta nas longarinas	81
Figura 45 – Junta de dilatação obstruída com abertura excessiva.....	83
Figura 46 – Junta de dilatação com excessiva abertura.....	84
Figura 47 – Junta de dilatação oclusa com espaçamento fechando-se	84
Figura 48 – Traçado da vista lateral da Ponte Nereu Ramos com divisões utilizadas	94

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Respostas: questão número um	86
Gráfico 2 - Respostas: questão número dois	87
Gráfico 3 - Respostas: questão número três	88
Gráfico 4 - Respostas: questão número quatro	89
Gráfico 5 - Respostas: questão número cinco	90
Gráfico 6 - Respostas: questão número seis	91
Gráfico 7 - Respostas: questão número sete	92
Gráfico 8 - Respostas: questão número oito	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição da Obra	77
------------------------------------	----

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI – American Concrete Institute

ASTM - American Society for Testing and Materials

CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias

NBR – Norma Brasileira

OAE – Obras de Arte Especiais

RILEM – International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials Systems and Structures

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	JUSTIFICATIVA E PROBLEMA	20
1.2	OBJETIVOS	21
1.2.1	Objetivo geral	22
1.2.2	Objetivos específicos	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	DEFINIÇÕES	23
2.2	EVOLUÇÃO HISTÓRICA	23
2.3	ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	26
2.3.1	Classificação de pontes.....	27
2.3.2	Juntas de dilatação	32
2.4	INSPEÇÕES EM PONTES	37
2.4.1	Tipos de inspeções	37
2.4.2	Qualificação profissional exigida	38
2.5	PRINCIPAIS PROBLEMAS PATOLÓGICOS ENCONTRADOS EM OBRAS DE CONCRETO ARMADO E POSSÍVEIS FATORES DESENCADEANTES	40
2.5.1	Fissuras.....	40
2.5.2	Desgaste superficial	45
2.5.3	Delaminação.....	45
2.5.4	Desagregação e disgregação	46
2.5.5	Carbonatação.....	46
2.5.6	Eflorescência	46
2.5.7	Corrosão	47
2.6	MÉTODOS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS UTILIZADOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....	48
2.6.1	Método do pacômetro	49
2.6.2	Método do esclerômetro.....	49
2.6.3	Método do ultrassom.....	49
2.6.4	Ensaio de carbonatação	50
2.6.5	Método de estimativa do teor de cloretos.....	50
2.6.6	Método de resistividade elétrica.....	50
2.6.7	Determinação dos índices de vazios e absorção de água	51

2.6.8	Ensaio de absorção por capilaridade.....	51
2.6.9	Determinação do teor de umidade.....	52
2.7	RECUPERAÇÕES PATOLÓGICAS EM CONSTRUÇÕES DE CONCRETO	
	ARMADO	52
2.7.1	Tratamentos superficiais em concreto.....	53
2.7.1.1	Polimento.....	53
2.7.1.2	Lavagens.....	53
2.7.1.3	Limpezas Especiais	55
2.7.1.4	Saturação	56
2.7.1.5	Corte	57
2.7.2	Tratamento de fissuras	58
2.7.2.1	Injeção de fissuras	59
2.7.2.2	Selagem de fissuras	61
2.7.2.3	Costura de fissuras.....	63
2.7.3	Reparos e reforços em elementos estruturais de concreto armado	64
2.7.3.1	Reparos utilizando concreto	64
2.7.3.2	Reforço através do aumento da seção transversal	66
2.7.3.3	Reforço com fibras de carbono.....	67
2.7.3.4	Reforço através de protensão externa.....	69
3	METODOLOGIA.....	72
3.1	OBJETO DE ESTUDO: PONTE NEREU RAMOS	72
3.2	COLETA DE DADOS.....	74
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	76
4.1	INSPEÇÃO DESENVOLVIDA E DADOS OBTIDOS	76
4.1.1	Problema patológico: corrosão de armaduras.....	77
4.1.2	Problema patológico: eflorescência em conjunto com corrosão de armaduras	80
4.1.3	Problema patológico: deficiência nas juntas de dilatação	83
4.2	QUESTIONÁRIO APLICADO.....	85
4.3	COMPILAÇÃO DE RESULTADOS	94
5	CONCLUSÃO.....	95
	REFERÊNCIAS	97
	ANEXO A – MODELO DE FICHA DE INSPEÇÃO ESPECIAL.....	101
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO	102
	APÊNDICE B – MAPEAMENTO: CABECEIRA A DA PONTE NEREU RAMOS ...	103

APÊNDICE C – MAPEAMENTO: PARTE CENTRAL DA PONTE NEREU RAMOS

104

APÊNDICE D – MAPEAMENTO: CABECEIRA B DA PONTE NEREU RAMOS ...105

1 INTRODUÇÃO

Através dos anos o conhecimento na área da engenharia civil vem se aprimorando cada vez mais, trazendo consigo descobertas importantíssimas, as quais modificam o cenário da construção civil e abrem consigo um enorme leque de possibilidades e atribuições aos profissionais da área.

Atualmente, pode-se determinar a vida útil de uma edificação partindo da análise de resultados obtidos com base em uma série de fatores que englobam as etapas de uma obra, desde a concepção do projeto até ao usufruto da estrutura. (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011).

Durante esse período, denominado como vida útil, a obra é capaz de exercer suas funções sem, tecnicamente, precisar de manutenções corretivas estruturais, porém diversas situações, como o emprego de materiais inadequados durante a construção e até mesmo falhas involuntárias, derivadas do processo de execução, podem provocar sua deterioração. Tais erros são conhecidos como “doenças da estrutura”, comumente nomeado por profissionais da área de problemas patológicos. (SOUZA; RIPPER, 1998).

Os problemas patológicos ocorrem em consequência de algum erro provocado em uma ou mais etapas do ciclo construtivo de uma obra, as quais são divididas em três fases: concepção, execução e utilização. Conforme os autores citados anteriormente, tem sido motivo de curiosidade e estudo comprovar em qual etapa consiste uma maior quantidade de falhas, visando identificar possíveis medidas a serem adotadas para solucionar os problemas gerados, bem como evitar que os mesmos aconteçam, tendo em vista que a “antiguidade da falha” implica diretamente na complexidade da solução, assim como em seu custo.

Pode-se afirmar então que as falhas ocasionadas em decorrência de projetos são de responsabilidade do projetista, caso a obra não possua nem mesmo um projeto como base, existe falhas em seu planejamento, se os materiais empregados forem de má qualidade o erro ocorre por parte do profissional responsável pelo setor de compras ou mesmo do fabricante, por não atender as especificações previstas, em algumas situações existe também poucas informações de projeto ou mesmo sua ausência. Há também falhas comumente encontradas na fase de execução, devido à pouca fiscalização e ao treinamento ineficaz da mão-de-obra, bem como ao uso errôneo da edificação por parte do usuário, destacando assim a importância da entrega do manual de usuário pelo engenheiro responsável da obra e o cumprimento da manutenção regular exigida.

A manutenção de obras de pequeno a grande porte no Brasil tem sido motivo de preocupação, principalmente em construções públicas. Atualmente, gasta-se muito tempo e recursos durante o processo de execução e projeção desses bens, no entanto, falta conscientização quanto a sua preservação, tanto pela população como do próprio governo. A ausência de manutenções ou mesmo seu emprego de maneira errônea podem acarretar acidentes, capazes de causar o impedimento da cadeia produtiva da obra e, em casos mais severos, colocar em risco a vida de cidadãos. (VITÓRIO, 2008).

Um forte exemplo de obras que carecem de atenção do poder público são as diversas pontes localizadas em nosso país. Destacando a importância de uma ponte como principal meio de conexão entre pontos de uma cidade, seja para vencer grandes vãos ou como uma obra turística, sendo considerada em diversos casos como um monumento histórico, somando-se a precária situação de diversas obras brasileiras no cenário atual do país, alcançadas devido a falha educação de preservação de bens públicos, o presente trabalho visa desempenhar um estudo sobre as principais patologias manifestadas na ponte Nereu Ramos, localizada no município de Tubarão/ SC, e propor possíveis meios de recuperação patológica.

1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

Durante a fatídica manhã do dia 14 de agosto de 2018, parte da ponte de Gênova, localizada na Itália, ruiu, deixando consigo um enorme vão de 206 metros, 43 mortos, diversos feridos e casos de cidadãos ainda desaparecidos entre os escombros. A obra de arte, intitulada de “Morandi”, inaugurada em 1967, era responsável pela ligação do norte da Itália ao sul da França e passou por reformas nos anos de 1990 e 2016. Segundo investigações preliminares a estrutura da ponte encontrava-se sobrecarregada, recebendo cerca de 25 milhões de veículos anualmente.

O engenheiro-estrutural Antonio Brencich aponta por meio de um relatório, realizado durante a segunda reforma da ponte, a presença de erros de execução em relação aos projetos, falta de manutenções e uso inadequado da construção, o que implicava em onerosas reformas e falhas estruturais nos balanços, tornando-se mais viável a demolição da obra e construção de uma completamente nova em seu lugar. Dois anos mais tarde após a emissão do relatório a ponte entrou em colapso (SANTOS, 2018).

Em 2008, um artigo objetivando a “Avaliação do grau de risco estrutural em pontes rodoviárias de concreto” foi realizado pelo Engenheiro Civil Especialista em Estruturas, José Afonso Pereira Vitória, o estudo objetivava avaliar, por meio de vistorias, a situação de 40

pontes moldadas em concreto armado, situadas em rodovias federais do Brasil, com o intuito de elaborar projetos executivos voltados para a recuperação, reforço e reabilitação das obras, no entanto, devido a constatação de patologias com grau elevado, a direção das pesquisas tomou um novo rumo, envolvendo conceitos que, de maneira resumida, subsidiaram na definição da fase de risco estrutural em que as pontes se encontravam.

O panorama de danos estruturais realizado constatou que na grande maioria das pontes avaliadas, diversos danos foram gerados em decorrência do processo de envelhecimento da estrutura sem o emprego de manutenções por até mesmo décadas, classificando-as em situação de ruptura iminente.

Com base no exposto, pode-se realizar a comparação de um exemplo extremamente recente de colapso estrutural em pontes com os mesmos obstáculos encontrados atualmente em diversas pontes no Brasil, apontando como principal problema a falta de manutenções, as quais são de responsabilidade do governo para com a população, evidenciando assim a importância da realização de um estudo sobre obras de arte que se enquadram nas mesmas situações e possuem considerável período de vida.

Com 80 anos, a ponte Nereu Ramos, localizada no município de Tubarão/ SC, carece de reformas, apresentando patologias antigas que podem vir comprometer sua estrutura com o passar dos anos. Devido a revitalização da Avenida Padre Geraldo Spettman a ponte tornou-se uma das principais rotas de acesso ao município, concentrando um significativo acúmulo de veículos para o qual não foi dimensionada, além de possuir um semáforo irregular ao final de seu tabuleiro, o que mantém os veículos estagnados sobre a ponte. (PEREIRA; SPADER, 2016).

Logo torna-se imprescindível a realização de um estudo mais aprofundado sobre a situação em que a ponte encontra-se nos dias de hoje, tendo como caráter de alerta para com a população e a prefeitura da cidade, determinando assim como problema central deste trabalho de conclusão de curso o **“levantamento das principais manifestações patológicas encontradas na ponte Nereu Ramos, focando-se nas que possuem maior gravidade e extensão e sugerir possíveis meios de recuperação”**.

1.2 OBJETIVOS

Nos próximos tópicos será disposto, de maneira sucinta, os objetivos gerais e específicos apresentados para o desenvolvimento do presente trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

Levantar os principais problemas patológicos presentes na Ponte Nereu Ramos e sugerir possíveis meios de recuperação.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Descrever os problemas patológicos, com maior gravidade e extensão, localizados na superestrutura e mesoestrutura da ponte Nereu Ramos;
- b) Identificar seus mecanismos de ocorrência e possíveis testes a serem empregados para a detecção dessas doenças;
- c) Sugerir soluções de recuperação para os problemas patológicos evidenciados;
- d) Efetuar um mapeamento das anomalias encontradas na obra de arte especial pontuando os resultados obtidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente item visa desenvolver o embasamento bibliográfico para a elaboração da metodologia, análise de resultados e conclusão do trabalho, apresentando consigo textos claros e coerentes.

2.1 DEFINIÇÕES

As pontes, nomeadas também como Obras de Arte Especiais (OAE), possuem como principal finalidade vencer grandes vãos, sendo estas classificadas de acordo com o que transpõem.

Conforme Pfeil (1990), pode-se descrever como ponte obras que possuem o objetivo de cruzar obstáculos, como por exemplo: rios; braços de mar; vales profundos; etc. A definição de viaduto é empregada quando se utiliza da estrutura de uma ponte para vencer vias, vales ou demais obstáculos não compostos por água.

Além das denominações de ponte e viaduto, existem também as chamadas passarelas, delineadas como construções que possuem os elementos de uma ponte sendo, no entanto, de uso apenas para pedestres, e os viadutos de acesso, utilizados para manter a continuidade de uma via à pontes de grande magnitude, realizando assim sua vinculação de maneira mais suave e sem interrupções de fluxo. (OLIVEIRA; PIEROTT, 2016).

2.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA

A inerente necessidade de evoluir, transformar e buscar pelo aperfeiçoamento acompanha a humanidade desde os seus primórdios, conforme Darwin, os organismos mais bem adaptados ao meio possuem maiores chances de sobreviver, produzindo uma quantia superior de descendentes que os demais da espécie, menos adaptados, sendo assim selecionados pelo próprio ambiente.

A procura por alimentos, abrigo e prosperidade, impôs, por muitas vezes, obstáculos naturais ao homem em sua jornada, como por exemplo a transposição de grandes rios. As primeiras pontes surgiram de maneira involuntária, seja através da queda de grandes troncos de árvores ou mesmo por formações maciças, como rochas, ambas originadas devido

as forças da natureza. Utilizando-se dessa engenharia natural, no decorrer da evolução, os seres humanos começaram a desenvolver maneiras de imitá-la. (JESUS, 2013).

Figura 1 – Ponte construída naturalmente por um tronco de árvore caído



Fonte: Stancheva, (2016).

As primeiras obras de arte especiais foram construídas em pedra, as mais antigas, ainda hoje existentes e em uso, encontram-se em Roma, nomeadas como: Fabrício (62 a.C); São Ângelo (134 d.C); Céstio (365 d.C). Desenvolvidas através da técnica de arcos, aprendida com o povo etrusco.

Figura 2 – Ponte Fabrício em Roma



Fonte: Mendes, (2017).

Posteriormente as pontes realizadas em pedra, surgiram as OAE em madeira. Existem registros de que foram utilizadas para vencer grandes rios, como Reno e Danúbio,

pelos romanos. O arquiteto Palladio, em meio a renascença, século XVI, conseguiu compor vãos de até 30 metros empregando treliças triangulares de madeira.

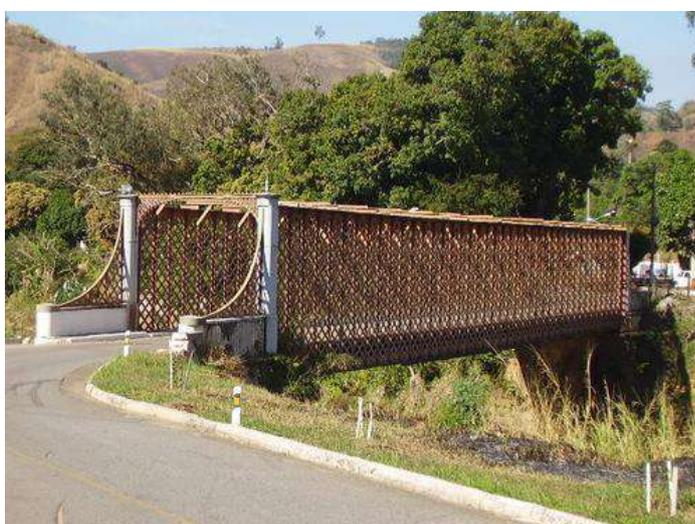
Figura 3 – Ponte de madeira localizada no município de Paranaíba - MS



Fonte: Prefeitura de Paranaíba, (2010).

A substituição da madeira pelo ferro começou a sua tomar forma e, em 1179, a primeira ponte executada totalmente em ferro fundido foi projetada sobre o Rio Severn, na Inglaterra, contendo um vão de 31 metros e 15 metros de largura. Durante o ano de 1840, surgiram as treliças constituídas completamente de aço, sendo tal tecnologia empregada novamente em obras localizadas no Brasil nos anos de 1850 e 1860, conhecidas como Boa Vista e Sant'Ana, respectivamente. (PINHO; BELLEI, 2007).

Figura 4 – Ponte Sant'Ana sobre o Rio Piabanha



Fonte: Prefeitura de Areal, (2018).

A partir do século XX, as primeiras pontes de concreto começaram a surgir. Construídas com sustentação em formato de arcos, utilizando-se de concreto simples, e tabuleiros em concreto armado. Somente em 1912, o concreto armado passa a ser empregado na mesoestrutura em pontes de viga e pórticos. Na década de trinta, o concreto protendido torna-se conhecido como uma alternativa de material a ser empregado em pontes, no entanto, apenas após a Segunda Guerra Mundial despontou no mercado. (FELIPPE, 2008).

Figura 5 – Ponte Anita Garibaldi



Fonte: Pauluci, (2017).

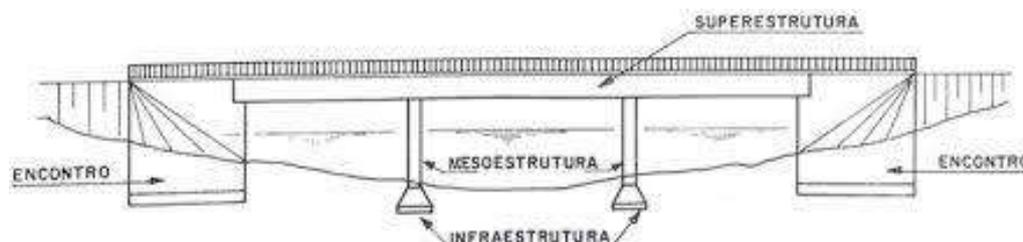
2.3 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Do ponto de vista funcional, a estrutura de uma ponte pode ser dividida em três grupos: infraestrutura; mesoestrutura; superestrutura. A infraestrutura, também denominada como fundação, é a responsável por transmitir os esforços decorrentes da mesoestrutura e superestrutura ao solo (terreno da obra). A fundação pode ser constituída por blocos, estacas, tubulões, sapatas, assim como blocos de cabeça de estacas e vigas de enrijecimento desses blocos.

A mesoestrutura possui a função de receber cargas advindas da superestrutura em conjunto com outros esforços provindos meio externo das pontes, como por exemplo, a pressão do vento e a corrente da água, e transmiti-los às fundações por meio dos pilares, os quais constituem parte dos elementos estruturais da mesoestrutura. Acima da mesoestrutura, localiza-se a superestrutura, considerada como a parte útil da obra, pois é o suporte imediato ao estrado,

local em que trafegam os veículos e pedestres. Geralmente, é constituída por longarinas, transversinas e tabuleiro, este último subdivide-se em laje, pista de rolamento, guarda corpo, defesa, dentre outros componentes. (PFEIL, 1990; MARCHETTI, 2008).

Figura 6 – Elementos constituintes de uma ponte



Fonte: Pfeil (1990, p. 2).

Entre as vigas principais e os pilares, localizam-se os intitulados aparelhos de apoio, ou seja, as peças de transição responsáveis pela transmissão das reações de apoio, o que possibilita a movimentação da superestrutura, causada por uma série de fatores, tais como: intempéries; retração do concreto; protensão; esforços de frenagem e aceleração provindos de veículos; etc. Os aparelhos de apoio podem ser classificados de três maneiras sendo estas, articulação fixa, articulação móvel e articulação elástica. As articulações fixas e móveis geralmente são compostas por aparelhos de apoio elaborados em material de aço ou concreto, já as articulações elásticas empregam-se o uso da borracha sintética, comercialmente conhecida como neoprene. (EL DEBS; TAKEYA, 2010; PFEIL, 1990).

De acordo com Pfeil (1990), os encontros possuem a finalidade de receber os esforços advindos do empuxo dos aterros de acesso, prevenindo assim a transmissão dessas cargas para os demais elementos da ponte. Podem ser considerados tanto como parte da mesoestrutura como da infraestrutura, variando de um autor para o outro. Em algumas obras de artes, são peças indispensáveis, mas podem ser excluídos em viadutos e pontes em que não haja riscos de erosão.

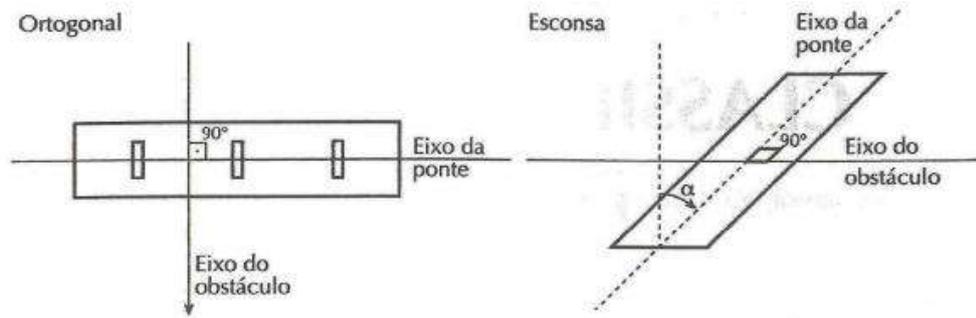
2.3.1 Classificação de pontes

A construção de uma OAE pode ser considerada como única pois, diferem das obras convencionais, apresentam características próprias, além de exigir maior especialização dos profissionais da área.

Segundo Marchetti (2008), as pontes podem ser classificadas de inúmeras maneiras, seja por meio de seus materiais constituintes, bem como pelo modo que se projetam no espaço. Resumidamente, podemos citar as seguintes classificações:

- a) Extensão do vão total:
 - I. Vãos com até 2 metros: Bueiros;
 - II. Vãos de 2 a 10 metros: Pontilhões;
 - III. Vãos acima de 10 metros: Pontes.
- b) Durabilidade:
 - I. Pontes permanentes: construções de natureza definitiva até o momento em que não estejam mais em conformidade com as condições exigidas pela via em que se localizam;
 - II. Pontes provisórias: construídas, geralmente, como alternativas para os desvios de tráfego, esse tipo de ponte possui duração limitada, ou seja, até que a obra permanente seja concretizada;
 - III. Pontes desmontáveis: classifica-se como uma obra utilizada apenas por um determinado período, no entanto, diferente das pontes provisórias, essas podem ser reutilizadas.
- c) Natureza de tráfego:
 - I. Pontes aeroviárias;
 - II. Pontes aqueduto;
 - III. Pontes canal;
 - IV. Pontes ferroviárias;
 - V. Pontes mistas;
 - VI. Pontes para pedestres;
 - VII. Pontes rodoviárias.
- d) Desenvolvimento planialtimétrico: Tópico que visa analisar o eixo de projeção de uma ponte por meio de um plano horizontal, ou seja, uma planta.
 - I. Pontes retas;

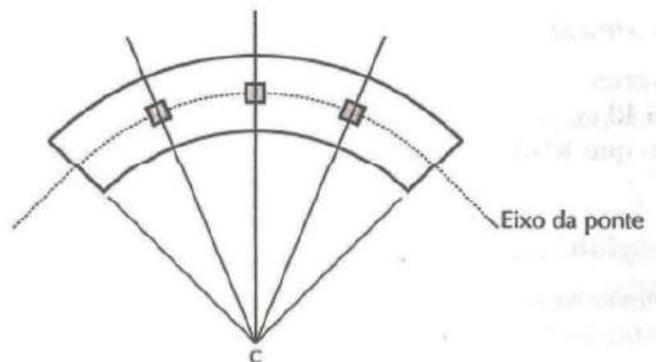
Figura 7 – Exemplo de pontes ortogonais e esconsas



Fonte: Marchetti, (2008).

II. Pontes curvas.

Figura 8 – Exemplo de ponte curva

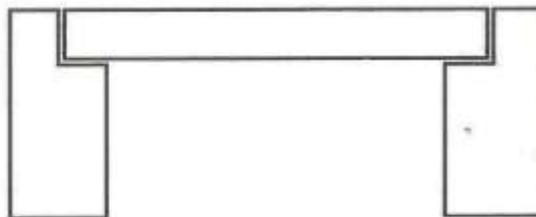


Fonte: Marchetti, (2008).

e) Desenvolvimento altimétrico: Considera-se como desenvolvimento altimétrico, a projeção do eixo da ponte em relação ao plano vertical (nível).

I. Pontes horizontais;

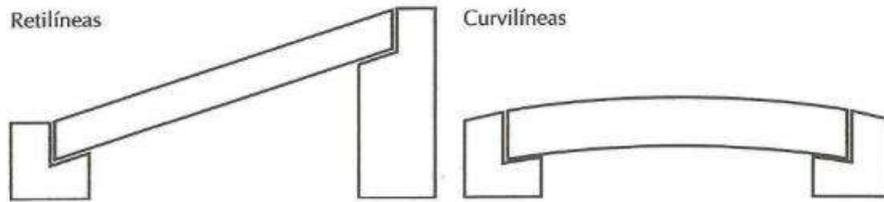
Figura 9 – Exemplo de ponte em nível



Fonte: Marchetti, (2008).

II. Pontes em rampa.

Figura 10 – Exemplo de pontes retilíneas e curvilíneas



Fonte: Marchetti, (2008).

f) Modelo estrutural da superestrutura:

- I. Atirantada;
- II. Em arco;
- III. Em pórtico;
- IV. Em viga;
- V. Pênsil.

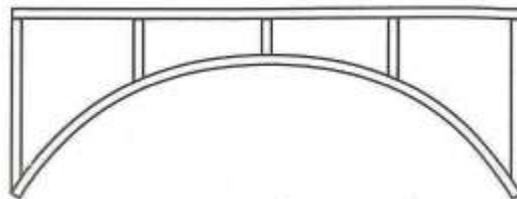
g) Material que compõe a superestrutura:

- I. Aço;
- II. Alvenaria;
- III. Concreto armado;
- IV. Concreto protendido;
- V. Madeira.

h) Posição da pista de rolamento:

- I. Tabuleiro superior;

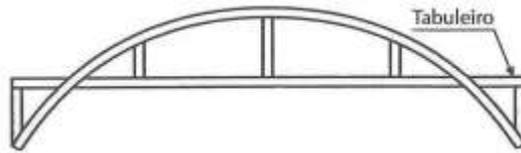
Figura 11 – Exemplo de ponte com pista de rolamento em posição superior



Fonte: Marchetti, (2008).

II. Tabuleiro intermediário;

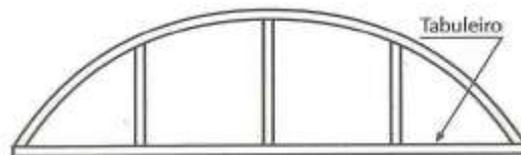
Figura 12 – Exemplo de ponte com tabuleiro em eixo intermediário



Fonte: Marchetti, (2008).

III. Tabuleiro inferior.

Figura 13 – Exemplo de ponte tabuleiro em posição inferior



Fonte: Marchetti, (2008).

i) Locomoção dos módulos:

- I. Ponte basculante;
- II. Ponte levadiça;
- III. Ponte corrediça;
- IV. Ponte giratória.

j) Padrão estático:

- I. Hiperestáticas;
- II. Isostáticas.

k) Sistema construtivo da superestrutura:

- I. Moldada no local;
- II. Pré-moldada;
- III. Desenvolvida em balaços sucessivos;
- IV. Efetuada em aduelas (segmentos).

2.3.2 Juntas de dilatação

As juntas de dilatação possuem a finalidade de permitir a existência de movimentações entre os elementos de uma construção, garantindo sua flexibilidade sem que ocorra a perda da segurança e funcionalidade da obra. Seu papel principal é evitar a transmissão de esforços entre os segmentos estruturais. (CRISTELLI, 2010).

Existem diversas juntas de dilatação empregadas atualmente na área da engenharia civil, as quais diferenciam-se entre si pelos seus métodos construtivos, tipo de fechamento e amplitude de movimento, normalmente compreendida entre 2cm a 3cm. Devido aos seus mais variados usos, como por exemplo, em fachadas, pavimentos e obras de arte especiais, são classificadas de acordo com três grupos: verticais; horizontais; aéreas.

Neste estudo serão destacadas as juntas de dilatação aéreas, empregadas geralmente em pontes, viadutos, passagens inferiores e superiores. (FERREIRA, 2013).

Conforme os autores Ferreira (2013), Lima e Brito (2009), pode-se elencar as seguintes juntas:

- a) Abertas: definida como a ausência de preenchimento entre o espaçamento das juntas e, em diversos casos, apresentando reforço estrutural nos bordos de betão com proteção, compostos de guarda-cantos metálicos tipo cantoneira e armadura suplementar. Possui utilização em todos os tipos de vias e aplicação em juntas fixas ou de movimentação reduzida, com amplitude máxima de 65mm. Os principais problemas patológicos comumente encontrados nesse estilo de junta circulam em torno do desnivelamento, causado devido ao fluxo de veículos, deformação do material, corrosão, infiltração de água e deslocamento dos elementos fixos;
- b) Ocultas sob pavimento contínuo: descrita como a pavimentação sobre a área de junta através do emprego de material betuminoso, sendo tal espaçamento preenchido com um tipo suporte paralelo ao deslocamento da junta, variando conforme a solicitação da via. Para atividades de até 10mm, utiliza-se como suporte as chapas metálicas, já movimentações na ordem de no máximo 20-30mm, recebem bandas de elastômero flexível. Visando minimizar o surgimento de fissuras no asfalto, uma manta geotêxtil pode ser aplicada no pavimento e elabora-se uma fresta linear à superfície, na qual se dispõe um material elástico. Devido a permeabilidade de pavimentos betuminosos, o que pode acarretar o surgimento de infiltrações e deterioração, é comum o uso de

uma membrana impermeável também, tendo por objetivo proteger os elementos da estrutura. Atualmente em desuso, esse tipo de junta pode ser adotada em todos os módulos de vias, sendo empregada em juntas fixas ou com pouca movimentação;

- c) **Betume modificado:** elaborada de betume modificado em conjunto com elastômeros e agregados siliciosos ou basálticos, essa combinação é disposta a quente sobre uma abertura previamente preparada no pavimento com largura compreendida entre 300mm e 750mm. Seus elementos constituintes agregam diversas melhorias como, por exemplo, flexibilidade, elasticidade e ductilidade provindas dos elastômeros, assim como economia de custo, maior endurecimento e trabalhabilidade, em decorrência dos agregados. Esse tipo de junta permite movimentações horizontais na ordem de até 25mm e verticais com cerca de 1/10 da amplitude horizontal, são utilizadas em estruturas de pequena extensão e podem apresentar diversos problemas patológicos (infiltração, deformações e fissuração da junta/material, destaque dos elementos constituintes, dentre outros);
- d) **Juntas com selamento em material elástico:** caracteriza-se pela aplicação de um cordão de material elástico sobre o vão da junta, o qual prende-se aos bordos e permite movimentações reduzidas. Geralmente, utiliza-se como materiais poliuretanos e silicones, o quais precisam possuir estabilidade volumétrica. Além do elemento elástico, existe ainda a introdução de um outro material, a espuma de poliuretano, a qual serve como base para o componente elástico. A selagem desse tipo de junta pode se dar contra o próprio betão, perfis metálicos ou uma faixa desenvolvida com argamassa de retração compensada resistente, quando em pavimentos asfálticos betuminosos. O material elástico compreende de 20mm a 70mm de largura, com espessura de 15mm a 20mm, atendendo a movimentações horizontais até 5mm e verticais de 1mm. Antes comumente utilizadas, essas juntas são limitadas a obras de artes especiais de porte pequeno com tráfego classificado como leveiro ou pedonais, podendo-se destacar como doenças as deformações, deslocamentos na transição, descolamento dos materiais da junta, além de infiltrações;
- e) **Perfil de elastômero comprimido:** definida como a introdução de uma borracha de material natural ou sintético, em perfil alveolar, no espaçamento da junta, sendo assentado a compressão sobre as saliências construídas previamente nos

bordos, não ultrapassando a linha da pista de rolamento. Sua fixação pode ser dada tanto em cantos de argamassa epóxida ou de alta resistência, quanto por meio de perfis metálicos estilo cantoneira. Possui diversas variações de empregos, desde passagens pedonais a estações de tratamento de água e esgoto. Pode ser utilizada em vias de tráfego intenso e carga pesada, comportando variações de 15mm a 50mm. Dentre os principais problemas patológicos encontrados pode-se evidenciar: destaque de elementos de fixação, deformações da junta/materiais, corrosão dos materiais;

- f) Bandas flexíveis de elastômero: são descritas como bandas constituídas de elastômero presas as laterais dos bordos da junta, sua fixação se dá por blocos de elastômero armado ou perfis metálicos de aço/alumínio, podendo se encontrar no nível do pavimento, bem como sob o mesmo. São usualmente instaladas em obras de arte especiais com fluxo intenso e pesado, seu deslocamento horizontal máximo pode chegar a 50mm e vertical a 10mm. A angulação indicada para o viés se encontra entre 30° e 45°. Comumente encontra-se problemas em decorrência da deterioração da banda e selagem de alvéolos de fixação, bem como descolamentos na transição;
- g) Chapas metálicas deslizantes: interpretada através da existência de duas placas metálicas, fixas sobre as beiradas de cada lado da junta, que deslizam entre si. A placa que se sobrepõe a outra, realizando o movimento de deslize, encontra-se no nível do pavimento, a área de encaixe pode ser dentada ou não, as placas possuem a opção de serem revestidas de elastômero. São empregadas em pontes de fluxo ligeiro a médio, bem como em obras do tipo pedonais. Dentre os principais problemas patológicos, pode-se elencar: o impedimento de deslocamento da junta, corrosão dos materiais constituintes e projeção de ruídos;
- h) Juntas de elastômero armado: compostas por módulos de elastômero vulcanizado prismáticos a placas metálicas dispostas horizontalmente. Tais módulos possuem recortes nos quais a junta se deformará. Geralmente construídas a partir de aço ou alumínio, as placas metálicas dispõem da rigidez e resistência precisas para a difusão de cargas provindas do tráfego. Podendo ser divididas, conforme alguns fabricantes, em dois tipos: de corpo simples ou de corpo duplo, em decorrência da sua dimensão. São fixadas ao betão por meio da ancoragem de pernos em suas extremidades, as quais são seladas

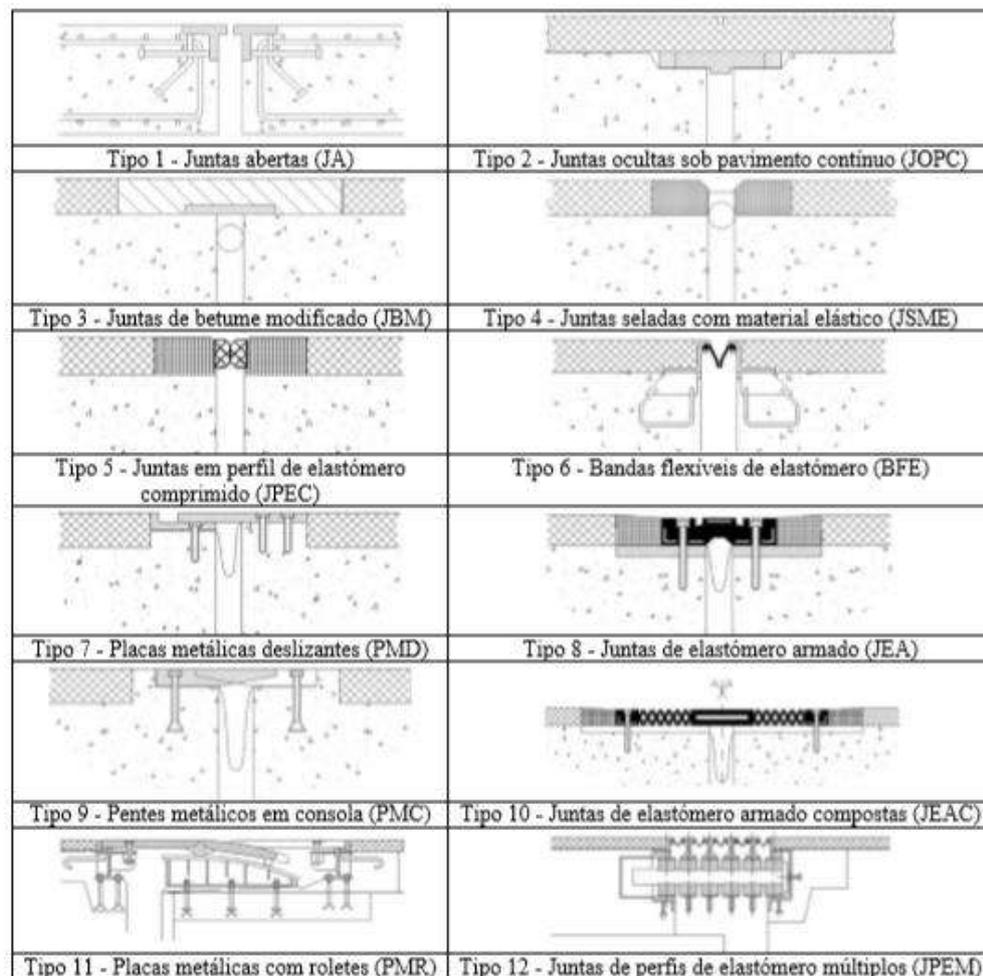
posteriormente com tampões de mesmo material que a junta ou através de um fluído elástico. Abaixo, a junta é disposta sobre uma argamassa especial, bem como as bandas de transição. Indica-se também a introdução de uma chapa inox, selada por meio de resina epóxida, visando reduzir o desgaste do elastômero por abrasão e regularidade do assentamento. Podem ser utilizadas em pontes com qualquer tipo de fluxo, comportam deslocamentos horizontais de 20mm a 350mm;

- i) Pente metálico em consola: caracterizada pela utilização de duas placas metálicas em formato de pente, instaladas sobre cada bordo da junta, as quais se encaixam uma na outra com desenvolvimento em consola. Possuem cerca de um metro de largura com dentes em formatos triangulares ou retangulares. As placas são presas por ancoragens reforçadas previamente, alguns tipos apresentam ainda um perfil de elastômero subsuperficial, o qual melhora as condições de impermeabilidade e bloqueia a passagem de sujeiras;
- j) Juntas de elastômero armado compostas: formadas por elementos rijos de elastômeros conectados a peças deformáveis, também constituídas de elastômero, as quais possuem o objetivo de receber as movimentações longitudinais. Sua disposição sobre o espaçamento determina dois tipos de juntas, simétricas e assimétricas. A fixação das mesmas sobre o elemento estrutural ocorre da mesma maneira que nas juntas de elastômero armado, no entanto, comportam uma maior variação de deslocamentos, podendo ser instalados também dispositivos anti-levantamento. São empregadas em pontes de grande porte e qualquer tipo de tráfego, apresentam problemas patológicos ligados a deterioração da banda de transição, danificação ou ausência da selagem de alvéolos de fixação, fissuração e corte dos materiais da junta, dentre outros;
- k) Placas metálicas com roletes: construídas a partir de duas chapas metálicas envolvidas de elastômero e presas aos bordos da junta, elas deslizam sobre outras placas presentes na área neutra da junta. Diferente das placas deslizantes comuns, essas não possuem desníveis entre os elementos fixados e deslizantes, os quais movimentam-se através de um processo de reentrada com o auxílio de roletes. Podem ser utilizadas para grandes deslocamentos em obras de arte especiais extensas, sem restrições de tráfego. Os principais problemas patológicos listados circulam em torno da oxidação dos componentes metálicos,

colapso/ausência de juntas ou módulos, aderência insuficiente e propagação excessiva de ruídos;

- 1) Juntas em perfis de elastômero múltiplos: nomeadas também como juntas modulares, são constituídas por uma sucessão de perfis de elastômero (Neoprene) e perfis metálicos de aço. Instalados transversalmente a junta, possuem o papel de deslizar sobre vigas metálicas, localizadas em cada bordo da junta sobre as caixas de deslocamento. Visando padronizar as aberturas e fechos dos perfis de Neoprene, são empregados dispositivos mecânicos ou elásticos. Indica-se seu uso para pontes com movimentações complexas, podem suportar variações de 1200mm horizontalmente e 20mm verticalmente e apresentam problemas com danificação de guarda-cantos, inconstância geométrica da junta em relação a pista de rolamento, deformações da junta e seus materiais, oxidação de peças metálicas etc.

Figura 14 – Juntas de dilatação



Fonte: Lima; Brito, (2009).

2.4 INSPEÇÕES EM PONTES

Visando garantir um bom desempenho, bem como a durabilidade de uma OAB durante sua vida útil, inspeções técnicas com ação preventiva devem ser efetuadas em construções deste porte, havendo possibilidades assim de prevenir o surgimento de futuras patologias e anomalias, quando já existentes, pode-se tomar medidas para ameniza-las ou evitar a propagação das mesmas.

Define-se inspeção de pontes como um exercício técnico desenvolvido por profissionais qualificados da área, os quais devem realizar a coleta de dados (projeto e construção), análise da obra em específico e projeção das informações obtidas através de relatórios, desenvolvendo assim uma avaliação sobre o estado em que a edificação se encontra e recomendações para ações futuras, como novas vistorias, obras de manutenção ou recuperação, reforço e reabilitação. (DNIT, 2004).

2.4.1 Tipos de inspeções

Conforme a norma do DNIT 010 (2004), existem cinco tipos de inspeções preventivas, sendo as inspeções cadastrais, rotineiras e especial, mais comumente utilizadas e conhecidas, em relação as inspeções de classe extraordinária e intermediária.

Caracteriza-se cada inspeção da seguinte maneira:

- a) Inspeção cadastral: é a primeira inspeção que se realiza após o término da obra, para que assim seja possível resgatar ainda documentos como relatórios de fiscalização e supervisão, referentes ao andamento da construção, e projetos utilizados. Por ser dada como uma inspeção apurada, deve ser desenvolvida por uma equipe comandada por um inspetor e amplamente documentada, pois a mesma servirá, futuramente, como referência as demais inspeções efetuadas. A realização de novas inspeções cadastrais deverá ocorrer sempre que houver modificações importantes sobre os elementos estruturais da ponte (alargamento, mudança de classe, bloqueio de articulações, etc.);
- b) Inspeção rotineira: realizadas a cada dois anos, podem ser definidas como inspeções periódicas, as quais possuem a função de acompanhar as falhas detectadas durante a inspeção cadastral, além de registrar a ocorrência de novas anomalias encontradas e atividades realizadas, como reparos, reforços,

recuperações etc. Dentre as avaliações efetuadas na estrutura, podemos destacar a observação do alinhamento, prumo e deformações, as quais podem ser desenvolvidas visualmente;

- c) Inspeção especial: exigidas quando ocorre a detecção de problemas graves na estrutura em meio as inspeções cadastral ou rotineiro, em pontes projetadas com complexidade, assim como antes e durante a passagem de cargas extremas sobre a edificação. Efetuadas em intervalos de no máximo cinco anos, classificam-se como inspeções visuais meticulosas, devendo ser comandadas por inspetores seniores. Nesse processo, partes de difícil acesso da estrutura serão avaliadas através de lunetas, andaimes ou veículos especiais, contendo lanças ou gôndolas. Em alguns casos, se faz necessário ainda a análise de medidas de flechas e deformações com instrumentos de precisão. Especificamente, em pontes com formato de caixão, deve-se ocorrer a inspeção no interior da estrutura também, possuindo iluminação e ventilação adequadas;
- d) Inspeção extraordinária: definida como uma avaliação não programada da estrutura, deve ocorrer somente quando solicitada, visando avaliar o grau de dano causado a obra por meio de eventos causados tanto pela natureza, como pelo homem. Após a avaliação da magnitude que o dano atingiu, cabe ao inspetor decidir se será ou não preciso a tomada de medidas como limitar ou interromper o tráfego sobre a obra, além de definir as providências que devem ser tomadas para a recuperação da estrutura e a necessidade de posteriores inspeções especiais;
- e) Inspeção intermediária: recomendada quando ocorrem suspeitas ou mesmo a detecção de problemas na estrutura, como por exemplo: recalques de fundação; erosão incipiente; encontros parcialmente descalçados, etc. Possuem a função de supervisionar tais deficiências.

2.4.2 Qualificação profissional exigida

O Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias 709, estabelece parâmetros a serem avaliados para que um profissional esteja apto a atuar como um inspetor ou auxiliar técnico. Todas as derivações de inspeções existentes devem ser executadas por inspetores e auxiliadas, caso preciso, por consultores ou auxiliares técnicos. (DNIT, 2004).

Conforme o manual evidenciado, um inspetor deverá ser sempre um profissional graduado em engenharia e registrado no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA), devendo ser comprovado os seguintes quesitos para atuação como inspetor e inspetor sênior, respectivamente:

- a) Inspeção de uma única obra, possuindo até no máximo 200 metros de comprimento, incluindo somente pontes de estrutura convencional:
 - I. Mínimo de cinco anos de experiência com projetos e inspeções de pontes;
 - II. Conhecimento como um todo do Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias.
- b) Inspeção de um conjunto de obras ou estruturas especiais:
 - I. Mínimo de cinco anos de experiência com projetos, execuções e restauração de pontes;
 - II. Mínimo de dez anos de experiência com inspeções em obras de arte especiais;
 - III. Conhecimento como um todo do Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias.

Um auxiliar técnico deve apresentar as seguintes habilidades e estudos:

- a) Curso de segundo grau completo;
- b) Saúde e condições físicas para enfrentar obstáculos impostos em meio a inspeções, como por exemplo escadas de marinheiro;
- c) Capacidade de realizar desenhos à mão livre para esboçar estruturas da obra quando preciso, obedecendo suas respectivas proporções;
- d) Prática com a leitura de projetos estruturais, para a verificação de conformidade ou não da obra para com os projetos;
- e) Habilidade com registros fotográficos;
- f) Conhecimento de ferramentas de medidas (régua, trena, paquímetro, etc.);
- g) Motivação para realizar o trabalho e aprender, apurando sua capacidade de detectar defeitos nas estruturas;
- h) Possuir conhecimento acerca do Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias.

2.5 PRINCIPAIS PROBLEMAS PATOLÓGICOS ENCONTRADOS EM OBRAS DE CONCRETO ARMADO E POSSÍVEIS FATORES DESENCADEANTES

No ramo da engenharia civil, pode-se nomear como patologias os diversos tipos de manifestações da estrutura que indicam o estado de deterioração em que a mesma se encontra, essas acontecem por inúmeros motivos, como através do envelhecimento natural ou algum acidente imprevisto, mas na maioria das vezes estão ligadas à falha humana, como por exemplo, a falta de especificações de projeto ou o emprego de materiais de qualidade inferior por alegadas razões econômicas, execução da obra de maneira errônea, sobrecarga da estrutura e a falta de manutenções periódicas. (SOUZA; RIPPER, 1998).

De acordo com os autores anteriores, dependendo da natureza dos materiais empregados e das condições de exposição, cada estrutura reage de forma diferente aos agentes de deterioração, o quais também podem ser apontados como elementos agressores, intervindo diretamente na vida útil e desempenho da estrutura quando não precavidos.

A vida útil é definida como o período em que a estrutura ou o material mantém suas propriedades acima dos limites mínimos especificados, já por desempenho entende-se como o comportamento dos elementos durante a vida útil e após o emprego dos esforços para os quais foi projetada para suportar.

Existem inúmeros tipos de manifestações patológicas, a seguir serão descritas as principais encontradas em obras de concreto armado, bem como suas possíveis causas.

2.5.1 Fissuras

As patologias encontradas em concreto armado são evidenciadas pela aparição de fissuras e trincas, por serem as manifestações mais comuns são consideradas como características deste tipo de estrutura. Ocorrem devido a fragilidade do concreto em relação aos esforços de tração, entretanto, por mais comum que seja um processo de fissuração, o mesmo pode instalar-se em uma estrutura por diversas causas, intrínsecas ou extrínsecas. Para que seja possível identificar com precisão a origem, natureza, os mecanismos envolvidos e as possíveis consequências, se faz necessário a realização de inspeções por meio de um profissional qualificado, de modo a configurar a situação de elementos como fissuras e aberturas, suas variações ao longo do tempo, bem como a extensão e profundidade em que se encontram. (SOUZA; RIPPER, 1998; VITÓRIO, 2003).

De acordo com Vitório (2003), as fissuras podem ser classificadas conforme sua espessura:

- a) Fissura: abertura pouco expressiva em formato linear, se manifesta na superfície de materiais sólidos como resultado de uma ínfima ruptura de parte da sua massa, apresentam espessuras de até 0,5mm;
- b) Trinca: considerada como uma abertura pouco expressiva, em formato linear, se demonstra na superfície de materiais sólidos em decorrência de uma pequena ruptura de parte de sua massa, apresentam espessuras de 0,5mm à 1,00mm;
- c) Rachadura: abertura expressiva que se manifesta na superfície de materiais sólidos devido a intensa quebra de sua massa, pode-se observar através dela, sua espessura varia de 1,00mm à 1,5mm;
- d) Fenda: dada como uma abertura significativa, a qual se manifesta através da superfície de materiais sólidos, resultante de expressivo rompimento de sua massa, sendo possível observar através da mesma, apresentam espessuras superiores à 1,5mm.

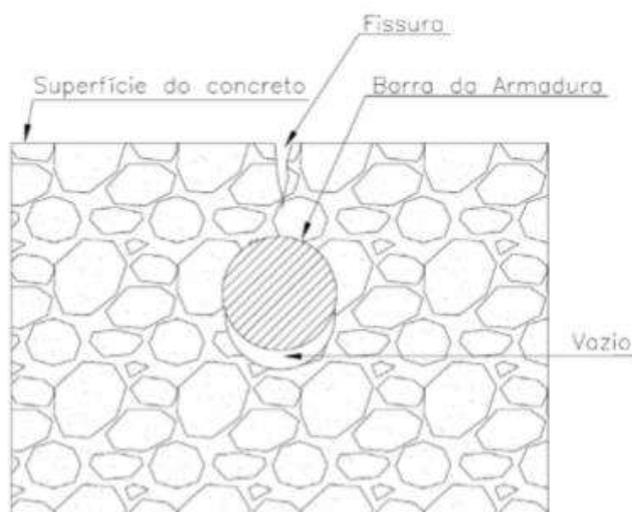
De modo geral as fissuras e trincas podem ser passivas, quando atingem sua amplitude máxima e se estabilizam devido à suspensão dos fatores que a geraram, ou ativas, quando a abertura continua a aumentar com o tempo por conta da variação de cargas móveis. (DNIT, 2010; VITÓRIO, 2003).

Segundo a IPR 744 (DNIT, 2010), as fissuras ocorrem em diversas fases do concreto, sendo estas a fase plástica, endurecida e de utilização, podendo também se desencadear durante o tráfego de cargas móveis.

Na fase plástica do concreto, as fissuras são capazes de se originar através das seguintes situações:

- a) Assentamento plástico do concreto: ocorre por conta da excedente exsudação do material. Surgem nas primeiras horas de concretagem e se localizam ao longo das barras de armaduras e nas alternâncias de forma das seções;

Figura 15 – Fissura típica de assentamento plástico



Fonte: DNIT, (2010).

- b) Retração plástica do concreto: causada pela evaporação acelerada da água e cura inadequada, forma-se nas primeiras horas de concretagem e são encontradas em superfícies de elementos concretados com pouca umidade e em ambientes muito secos;

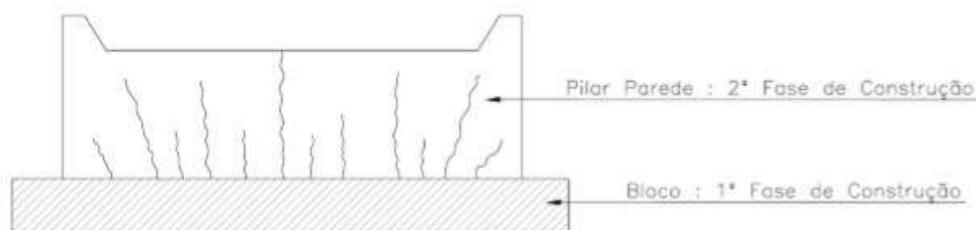
Figura 16 – Fissura típica de retração plástica do concreto



Fonte: DNIT, (2010).

- c) Retração térmica inicial: provocada pela insuficiência de armaduras nas juntas da construção, acontecem nos primeiros dias após a concretagem, durante a fase de endurecimento do concreto, estando presentes perpendicularmente nas juntas da construção.

Figura 17 – Fissuras e trincas precoces



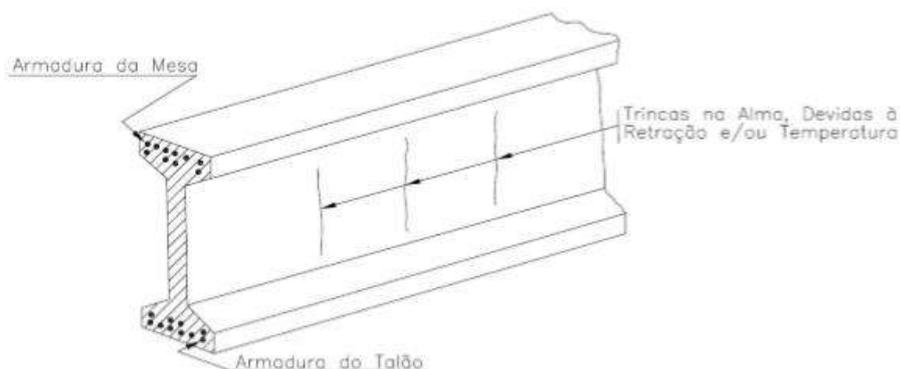
Trincas Precoces: Bloco na 1ª Fase de Construção e Pilar na 2ª Fase de Construção

Fonte: DNIT, (2010).

Durante o período em que o concreto se encontra endurecido, as fissuras podem se manifestar através das seguintes formas:

- a) Retração: desencadeada em decorrência do encurtamento normal do concreto, ocorrem pela perda de umidade. Caso não sejam controladas ou minimizadas pela ação das armaduras, as mesmas se manifestam meses após a concretagem. As fissuras se localizam em posições perpendiculares ao encurtamento;

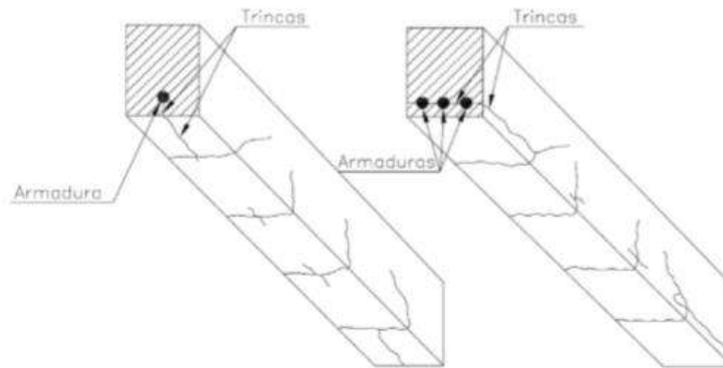
Figura 18 – Fissuras e trincas de retração e/ou intempéries localizadas na alma



Fonte: DNIT, (2010).

- b) Corrosão das armaduras: aparecem em consequência à expansão das armaduras provocada pela corrosão, podendo manifestar-se meses ou anos após a concretagem. Estão localizadas ao longo de toda armadura.

Figura 19 – Trincas e/ou fissuras típicas provocadas pela corrosão de armaduras

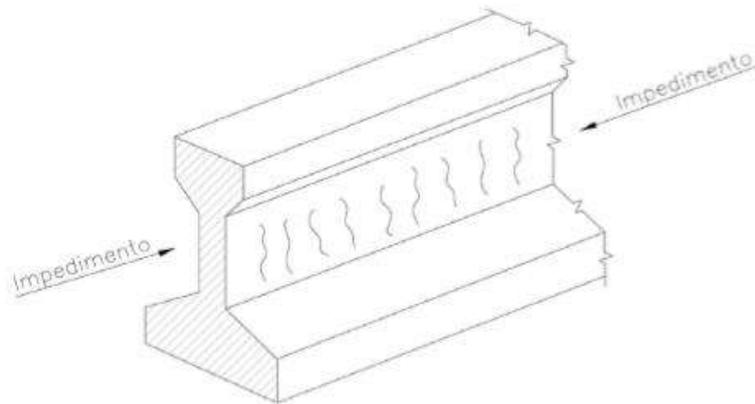


Fonte: DNIT, (2010).

Fissuras manifestadas na fase de utilização da obra:

- a) Variações de temperatura e retração residual: acarretadas pelo impedimento de movimentação da estrutura ou desgaste dos aparelhos de apoio, as fissuras se demonstram em direção aos impedimentos.

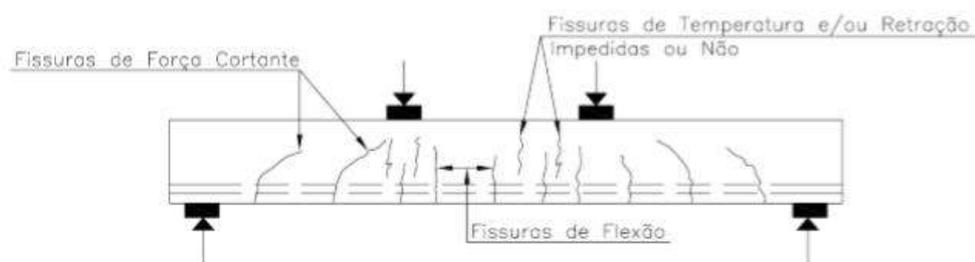
Figura 20 – Fissuras de retração na alma da viga



Fonte: DNIT, (2010).

As fissuras do concreto, causadas pelo tráfego de cargas móveis, são formadas por conta da aplicação de cargas excessivas, as quais a estrutura não foi dimensionada para suportar, surgem a partir da utilização inadequada da obra e se manifestam ao longo dos elementos estruturais mais solicitados.

Figura 21 – Fissuras típicas de flexão, força cortante, variação de temperatura e/ou retração, impedidas ou não



Fonte: DNIT, (2010).

2.5.2 Desgaste superficial

O desgaste superficial trata-se da perda gradativa de massa da superfície em um elemento de concreto, podendo se originar por abrasão, erosão ou cavitação. O desgaste causado pela ação abrasiva pode surgir devido à diversos agentes, sendo a água e o ar os mais comuns encontrados, pois carregam consigo partículas que agredem a superfície da estrutura o que gera a ação de desgaste. Como exemplos pode-se citar os veículos que trafegam na pista de rolamento e o impacto das ondas do mar sobre a estrutura. A ação dessas mesmas partículas geralmente leva também ao processo de erosão, cuja intensidade dependerá de diversos fatores, como a quantidade, forma, tamanho e dureza das partículas em suspensão, velocidade da água e do ar em incidência com a construção, etc. O desgaste superficial é ocasionado por cavitação e ocorre devido ao encontro de água corrente em alta velocidade pela estrutura. (SOUZA; RIPPER, 1998; DNIT, 2010).

2.5.3 Delaminação

A delaminação ou deslocamento, trata-se do desmembramento laminar do concreto ao longo de um plano paralelo a sua superfície, fazendo com que o elemento estrutural perca resistência. Podendo surgir em consequência da corrosão de armaduras. (DNIT, 2010).

2.5.4 Desagregação e disgregação

Desagregação é um fenômeno que se inicia com a mudança de coloração do concreto, o que indica a existência de algum tipo de ataque químico à estrutura, com isso o cimento perde sua capacidade aglomerante, causando a separação de partes do concreto. Originam-se pelo aumento de volume das armaduras (por conta da oxidação e dilatação da estrutura) ou através da expansão que acontece com o concreto ao absorver água, podem surgir também pela ação da movimentação estrutural ou por conta de choques.

A disgregação caracteriza-se pela ruptura do concreto, em especial nas partes mais relevantes da estrutura. O fenômeno ocorre geralmente por esforços anormais internos, os quais dão início a solicitações de tração em grande intensidade, em meio a este contexto o concreto não consegue suportar os esforços. (DNIT, 2010; VITÓRIO, 2003).

2.5.5 Carbonatação

Apesar de não ser considerado um problema patológico em si, o processo de carbonatação do concreto é um dos mecanismos de ocorrência mais presentes em obras da engenharia. Trata-se do resultado da dissolução de CO_2 , presente na atmosfera, sobre o cimento hidratado, formando assim o carbonato de cálcio, o que faz com que o PH do concreto se reduza drasticamente à valores abaixo de nove. Essa redução de PH pode representar um problema em diversas situações, pois as armaduras, quando expostas à condições do gênero, perdem o filme oxidado que as protegem, dando início ao processo de formação de células eletroquímicas de corrosão, o que pode ocasionar posteriormente fissuras e o deslocamento dos revestimentos. O avanço da carbonatação acontece devido a quantidade de CO_2 presente na atmosfera, bem como pelo teor de água, porosidade e nível de fissuração do concreto. (SOUZA; RIPPER, 1998; VITÓRIO, 2003).

2.5.6 Eflorescência

Define-se eflorescência como o acúmulo de sais sobre superfícies de alvenaria, podendo, em determinados casos, ser agressivos e deteriorarem as mesmas. A eflorescência

apresenta variados aspectos, os quais dependem do tipo de sal. Normalmente é causada pela variação de três fatores:

- a) Sais solúveis presentes em blocos, tijolos e argamassas de assentamento ou revestimento;
- b) Presença de água para dissolver e carregar os sais solúveis até a superfície da alvenaria;
- c) Pressão hidrostática ou evaporação, de modo a produzir a força necessária para a solução deslocar-se até a superfície.

O fluxo de água através das paredes e a cristalização dos sais em sua superfície podem se manifestar por variadas causas, tais como, a capilaridade, infiltrações em fissuras, percolação por vazamentos de tubulações de água, vapor, ou condensação do vapor de água dentro de paredes. Concluindo-se assim, que todo componente de concreto está sujeito a patologias dessa natureza. A agressividade e as características das eflorescências variam conforme a origem dos sais, condições atmosféricas, temperatura, vento, dentre outros. (VITÓRIO, 2003).

2.5.7 Corrosão

Conforme Helene (1993), entende-se por corrosão a deterioração de um material exposto ao meio ambiente, seja por ação química, eletroquímica, esforços mecânicos, ou o conjunto desses fatores. Portanto tratando-se de concreto armado, a corrosão pode estar presente tanto no concreto, como nas armaduras.

Esse fenômeno geralmente se apresenta em materiais metálicos, o processo de corrosão pode ser comparado ao processo inverso do processo siderúrgico, onde o resultado da corrosão de um metal é semelhante ao minério bruto do qual foi extraído, mais a liberação de energia ao meio ambiente. (GENTIL, 2007).

A corrosão por ações químicas é formada pela interação gás-metal ou fon-metal, no entanto esse tipo de corrosão é pouco importante para obras civil, pois o seu processo é muito lento à temperatura ambiente, podendo ser significativo somente em altas temperaturas, onde causa a formação de uma película de 3 camadas ao longo da armadura, o que desacelera ainda mais a velocidade das reações. A formação da carepa de laminação no processo siderúrgico pode ser citada como exemplo de corrosão química.

A corrosão eletroquímica, ocorre como resultado da formação de pilhas de corrosão que são causadas pela presença de umidade em contato com as armaduras, ou no concreto que a envolve, o processo não acontece uniformemente pois a decomposição do aço acontece nas regiões anódicas, sendo considerado desprezível nas regiões catódicas. A corrosão de armaduras na presença de umidade e à temperatura ambiente pode ser sempre considerado como corrosão eletroquímica, esse o tipo de corrosão presentes em obras civis, que podem chegar a graus elevados de deterioração. (HELENE, 1993)

A porosidade do concreto, o nível de fissuração e a má eficiência do revestimento, permitem que as armaduras sejam atingidas por agentes agressores, destruindo a película passivamente presente ao redor das barras e dando início ao processo de oxidação. Este processo pode causar o aumento do volume da armadura em até 8 vezes, acarretando a formação de fissuras que podem expor totalmente a armadura ao meio externo, a continuidade deste fenômeno pode levar destruição total das armaduras, e por consequência a ruptura da estrutura. (SOUZA; RIPPER, 1998; VITÓRIO, 2003).

O processo de corrosão do concreto é puramente químico, e ocorre por conta da reação da pasta de cimento com alguns elementos químicos, provocando a dissolução do ligante ou a formação de compostos expansivos, causando a deterioração do concreto. O desenvolvimento das ações corrosivas no concreto depende de fatores do meio em que ele se encontra, bem como as propriedades do mesmo. Quando de boa qualidade o concreto apresenta alta resistência à corrosão, porém o de baixa qualidade, ou seja, o concreto permeável, muito poroso, segregado ou confeccionado com materiais de má qualidade ou impuros, será facilmente atingido por uma série de agentes. (SOUZA; RIPPER, 1998).

2.6 MÉTODOS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS UTILIZADOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Atualmente existem inúmeros métodos de ensaio não destrutivos que podem ser realizados para determinar diversas propriedades do concreto, estimativas de resistência, módulo de elasticidade e durabilidade, bem como a posição e tamanho das armaduras, índice de vazios, teor de umidade, fissuras e falhas de concretagem. Ao avaliar uma estrutura de concreto acabada deve-se observar todos esses fatores que serão essenciais na tomada de decisões. (EVANGELISTA, 2002).

2.6.1 Método do pacômetro

De acordo com Santos (2008), esse dispositivo é utilizado para realizar a detecção das armaduras e seu respectivo recobrimento. O aparelho cria um campo eletromagnético de baixa frequência que interage com o aço presente na estrutura, a partir dos dados gerados (intensidade e frequência) é possível determinar informações importantes sobre as barras de aço, como sua localização, diâmetro e recobrimento de concreto. O método consiste em realizar uma leitura com o dispositivo percorrendo o contorno de todo o elemento estrutural, marcando e determinando as bitolas e os espaçamentos, as medidas podem ser obtidas em milímetros. Esse método de ensaio pode ser encontrado descrito na ACI 228 2R (1998).

2.6.2 Método do esclerômetro

Segundo Bungey e Millard (1940) apud Sahuinco (2011), esse método de ensaio utiliza um equipamento conhecido como martelo de schmidt, que mede o resultado de uma mola impactando sobre a superfície do concreto, a mola sofre um recuo e o equipamento registra o mesmo em valor numérico, chamado de índice esclerométrico, esse valor pode variar de acordo com a rigidez da mola e o concreto selecionado. A partir dos dados obtidos é possível determinar a qualidade e a resistência a compressão do concreto.

A NBR 7584 (2012) instrui todos os cuidados que devem ser observados durante o ensaio.

2.6.3 Método do ultrassom

O método de medição de velocidade de ondas ultrassônicas não causa danos à superfície em que é aplicado, consiste basicamente em avaliar o tempo de propagação de pulsos ultrassônicos, de uma extremidade a outra, que atravessam a peça estrutural em uma distância bem conhecida. A partir dos resultados obtidos é possível realizar uma estimativa da resistência à compressão do concreto por meio de correlações empíricas, também pode ser utilizado para determinar o módulo de elasticidade do material.

Para aplicar esse ensaio se faz necessário um gerador de pulsos ultrassônico e um receptor para medir com exatidão a chegada das ondas, a frequência dos aparelhos pode variar entre 20 e 250khz. (NEPOMUCENO, 1999).

2.6.4 Ensaio de carbonatação

Segundo Sahuinco (2011), a principal causa de degeneração precoce do concreto armado é a corrosão das armaduras que, na maioria das vezes, está relacionada à carbonatação do concreto. Para identificar a profundidade do concreto carbonatado deve-se aplicar um indicador químico à base fenolftaleína ou timolftaleína e observar a coloração da região aplicada. A partir da cor obtida é possível estimar o pH do concreto e identificar o avanço da carbonatação, caso a cor resultante seja violeta significa que o concreto está com pH superior a 13 e sem coloração que o pH está inferior a 9, ou seja há carbonatação. Esse ensaio é instruído pelo CPC 18 (RILEM,1988).

2.6.5 Método de estimativa do teor de cloretos

Conforme Pereira (2011), existem diversos ensaios para determinação do teor de cloretos que podem ser classificados em técnicas analíticas clássicas, por via úmida, como gravimetria e titulometria, ou microanalíticos, como a cromatografia de íons. O método de potenciometria é o mais utilizado, esse ensaio é adotado pela ASTM nas normas C 1152 e C 114.

O ensaio de potenciometria consiste em realizar a medição da diferença de potencial entre dois eletrodos, um denominado eletrodo de referência, onde seu potencial é conhecido, e o outro eletrodo de trabalho, cujo seu potencial dependerá da solução que está sendo analisada. Os eletrodos são interligados a um instrumento de medição de corrente, também conhecido como ionômetro, que fornecerá o sinal analítico. (PEREIRA, 2011).

2.6.6 Método de resistividade elétrica

O ensaio de resistividade elétrica é utilizado para determinar a resistência dos materiais, com isso é possível indicar o potencial e a velocidade de corrosão das armaduras,

concretos de alta resistividade como, por exemplo, os que apresentam maior resistência a corrosão. (SAHUINCO, 2011).

De acordo com Cascudo (2005) apud Sahuinco (2011), a determinação da resistividade elétrica pode ser obtida através de dois métodos. O método de Wenner, também conhecido como método dos quatro eletrodos e normalizado pela G57 (ASTM, 1990), ou o método adotado pela NBR 9204 (ABNT, 1985), que é denominado como método dos três eletrodos.

O mais utilizado é o método dos quatro eletrodos, o qual consiste em introduzir, através dos eletrodos externos, uma corrente elétrica alternada no concreto de onda senoidal com frequência de 10Hz e diferença de potência entre esses eletrodos de 5V. Após determinado o tempo realiza-se duas medições da diferença de potencial entre os eletrodos internos e duas leituras da corrente elétrica passante entre os eletrodos externos. A partir desses dados é possível determinar a resistividade elétrica da peça. (SILVA, 2016).

2.6.7 Determinação dos índices de vazios e absorção de água

Conforme a NBR 9778 (ABNT, 2005), o ensaio de absorção de água consiste em permitir que a água ocupe os poros permeáveis de um corpo sólido poroso, o resultado é obtido em porcentagem através da relação da massa da amostra saturada e a massa da amostra seca.

$$A = \frac{msat - ms}{ms} \times 100$$

O ensaio de porosidade ou índice de vazios também está detalhado na mesma norma e pode ser utilizado o mesmo corpo de prova, nesse caso a amostra é totalmente saturada em água fervida e após um lento resfriamento serão registrados o peso saturado e o peso submerso, a partir da relação entre eles obtém-se o índice de vazios.

$$Iv = \frac{msat - ms}{ms - mi} \times 100$$

2.6.8 Ensaio de absorção por capilaridade

Esse ensaio está descrito na NBR 9779 (ABNT, 1995), basicamente se resume a medição do peso do corpo de prova saturado e seco, com isso pode-se determinar a capacidade

de absorção de água por capilaridade do concreto. Utilizando a seguinte equação é possível obter os dados.

$$C = \frac{A - B}{S}$$

Onde:

C = Absorção de água por capilaridade. (g/cm²)

A = Massa da amostra que permanece em contato com a água. (g)

B = Massa da amostra seca. (g)

S = Área da seção transversal. (cm²)

2.6.9 Determinação do teor de umidade

De acordo com Helene (1993) apud Sahuinco (2011), o teor de umidade é um dos fatores que determina o controle dos agentes agressivos que podem se infiltrar no concreto, como o oxigênio, gás carbônico e outros elementos que possam facilitar a corrosão.

Segundo Evangelista (2002), existem diversos métodos de ensaios para determinar o teor de umidade do concreto, tais como métodos eletrônicos e métodos nucleares, porém o mais utilizado é o método mecânico, através da seguinte equação:

$$U = \frac{(mu - ms)}{ms} \times 100$$

U = Teor de umidade do concreto. (%)

mu = Massa úmida do corpo de prova exposto ao meio ambiente. (g)

ms = Massa do corpo de prova seco. (g)

2.7 RECUPERAÇÕES PATOLÓGICAS EM CONSTRUÇÕES DE CONCRETO ARMADO

A recuperação patológica de uma estrutura é uma atividade que requer análise detalhada de todas as causas que as fizeram necessária, ou seja, um estudo das consequências causadas. Realizado esse estudo, o profissional responsável deve definir os materiais a serem empregados, bem como os equipamentos, mão de obra e, ainda mais importante, o método de recuperação que será utilizado. (SOUZA; RIPPER, 1998).

2.7.1 Tratamentos superficiais em concreto

Conforme Souza e Ripper (1998), existem várias técnicas de intervenção em superfícies expostas de concreto, desde simples abordagens até procedimentos mais detalhados de recuperação ou reforço estrutural. Dentre os tratamentos mais comuns utilizados, pode-se citar: polimento; lavagens; limpezas especiais; saturação; corte.

2.7.1.1 Polimento

O polimento trata-se de um método de tratamento para peças estruturais que apresentam superfícies excessivamente ásperas. Essa aspereza pode ser consequência de erros construtivos, dosagem equivocada, vibração ineficiente, etc., assim como consequência da forma bruta de utilização da obra, ou ainda, o desgaste natural que a mesma sofre por conta do uso.

Essa técnica possui por objetivo reduzir a superfície do concreto até sua textura original, tornando-a polida, sem apresentar partículas soltas. O procedimento pode ser feito de forma simples, manualmente, utilizando-se pedras de polimento ou mecanicamente, com lixadeiras portáteis, em casos de superfícies muito abrangentes pode ser executado com máquinas de polir pesadas. A realização dessa atividade exige mão de obra especializada, pois são utilizados equipamentos adequados para tanto, além de existir a necessidade de cuidados especiais de segurança, pois acarreta elevados graus de poluição sonora e produção de pó. (SOUZA; RIPPER, 1998).

2.7.1.2 Lavagens

Conforme Souza e Ripper (1998), a técnica de lavagem da estrutura, visando sua limpeza, pode ser desenvolvida por:

- a) Jatos de água ou areia: esse tipo de lavagem é geralmente aplicado para a limpeza de superfícies que, posteriormente, receberam material de recuperação para o elemento estrutural. Os equipamentos utilizados são máquinas de ejeção de água de alta pressão ou alguns modelos de máquinas de projeção de concreto, que comumente é escolhido para reduzir a quantidade de maquinário alocado em obra. É comum a lavagem ser feita através de jatos de água fria em conjunto com jatos de areia, em determinados casos um subsequente ao outro, porém em

situações em que a superfície esteja muito gordurosa ou com manchas impregnadas quimicamente, recorre-se à jatos de água quente com adição de materiais biodegradáveis. Existem ainda, aplicações de preparo da superfície que visam remover as partículas soltas do concreto ou resquícios de corrosão das armaduras, o jato será direcional, normalmente aplicado em alternância com o de areia com muito cuidado, pois o objetivo não é ferir ou demolir a estrutura, mas sim limpá-la;

- b) Aplicação de soluções ácidas: a lavagem de superfícies através de soluções ácidas tem como objetivo a remoção de tintas, ferrugens, graxas, carbonatos, resíduos e manchas de cimento que não seriam removidas com jatos d'água. Para evitar que a parte saudável da estrutura seja afetada pelo ácido, primeiramente a superfície deve ser encharcada com água, a aplicação deve ser realizada por aspersão ou com auxílio de broxa, de forma gradativa e em pequenas áreas, tomando todos os cuidados com a segurança e mantendo o ambiente sempre ventilado. Esse tipo de lavagem não deve ser utilizado nos casos em que o revestimento superficial do concreto estiver desgastado por algum motivo ou próximo às juntas de dilatação e dispositivos semelhantes, pois o ácido pode danificar a estrutura, nessas situações é recomendado a lavagem com soluções alcalinas. Normalmente o componente utilizado na solução é o ácido muriático, conhecido como ácido clorídrico comercialmente, na proporção 1:6. Após a aplicação da solução, devendo ser rigorosa e de forma progressiva, ocorrerá um borbulhamento por conta da descontaminação, ao final desse processo uma lavagem finalizadora será executada, com o propósito remover totalmente a solução e o material atacado. A lavagem será desenvolvida com uma mistura neutralizadora de água e amônia na proporção 1:4, com jatos de água natural;
- c) Aplicação de soluções alcalinas: a execução desta técnica é praticamente igual a das soluções ácidas e são requeridas para os mesmos casos, porém com cuidados diferentes, por conta dos agentes presentes. Com as soluções alcalinas não existe muitas preocupações em relação a proximidade das armaduras, por outro lado deve-se certificar se o concreto é constituído por agregados reativos, pois poderia causar uma reação álcalis-agregado, esse fenômeno faz com que o concreto seja expandido, podendo danificar a estrutura e causar fissurações. Os

procedimentos posteriores a aplicação e cuidados com a limpeza são os mesmos seguidos nas soluções ácidas.

2.7.1.3 Limpezas Especiais

Ainda segundo Souza e Ripper (1998), além das técnicas de lavagens, existem outras formas para se estar realizando as limpezas do local em que será efetuada a recuperação:

- a) Jatos de vapor: a utilização dos jatos de vapor possui semelhanças com as lavagens executadas por jatos de água e areia, ou seja, objetivam remover as impurezas minerais (sais) e orgânicas (graxas, óleos, tintas, etc.) da superfície do elemento estrutural, além de preparar o local para aplicação dos materiais de recuperação. Os jatos de vapor não devem ser aplicados nos casos em que a contaminação ofereça risco de alastramento, como em corrosões por exemplo, seria necessário que o jateamento fosse acompanhado por um removedor biodegradável. Os equipamentos de aplicação são os mesmos já citados, porém, se faz necessário a presença de uma caldeira que geraria o vapor e mangueiras revestidas de amianto;
- b) Jatos de ar comprimido: essa técnica é utilizada como um complemento para algum outro tipo de tratamento superficial, os quais resultem em poeiras ou partículas pequenas, como por exemplo, no corte e apicoamento. O ar comprimido pode ser empregado também em forma de aspiração, para limpar furos profundos no concreto, encontrados em ancoragem de barras de armadura por exemplo. O equipamento utilizado é um compressor tradicional, dotado de filtro de ar e óleo, para assegurar que o ar não seja sujo e venha a danificar a peça. O jato de ar comprimido necessita de um bico fino, já o jateamento deve ser realizado do interior da cavidade para o exterior;
- c) Jatos de limalha de aço: utilizado como uma alternativa em relação ao jato de areia, o jateamento com limalha de aço é menos poluente, porém, muito mais desgastante, devendo-se tomar cuidados com casos em que a superfície se encontra com armadura exposta e já corroída. Por se tratar de um material mais abrasante, o equipamento utilizado para aplicação é muito mais sofisticado, porém a logística de funcionamento é a mesma dos outros jateamentos. Esse tipo de tratamento é muito eficiente para remoção do concreto que possui

resistência inferior ao mínimo exigido, realizando a abertura rápida dos poros, o que eleva as chances de aderência ao material de recuperação;

- d) Escovação manual: essa técnica de limpeza é empregada em pequenas áreas do concreto ou em pequenas extensões de barras corroídas, as quais precisam de limpeza. A aplicação é efetuada manualmente, através de uma escova de aço, sendo que a mesma perde sua eficiência conforme os arames são desgastados. Em média o rendimento desse tipo de atividade é de 2m²/hora, sendo necessário em alguns casos a complementação do serviço com lixa de ferro ou lixa d'água. Após a escovação, se faz necessária a limpeza por jateamento de ar comprimido;
- e) Apicoamento: atividade muito utilizada e definida como antecessora à outras técnicas de restauração em elementos estruturais. Trata-se da remoção de uma camada fina de concreto da superfície da estrutura, a fim de torná-la rugosa, tendo como propósito o aumento de aderência para aplicação de uma nova camada que aumentaria a espessura de cobrimento da peça. Pode ser executada manualmente, através do auxílio de marreta e talhadeira, ou mecanicamente por meio de martelos pneumáticos/ elétricos. O equipamento deve ser escolhido de maneira adequada, dependendo da profundidade e da área da superfície em que será aplicada.

2.7.1.4 Saturação

A saturação é um procedimento que visa preparar a superfície e melhorar sua aderência para receber o concreto ou a argamassa de base cimentícia, além de qualquer outro tipo de material que servirá como recuperação. O tempo de saturação dura em média 12 horas, mas pode alterar conforme o tipo de material escolhido para ser executado. A água geralmente é aplicada continuamente, de forma simples, ou com auxílio complementar de componentes intermediários, como sacos de estopas. Esse processo é comumente utilizado em superfícies horizontais, como em vigas. Já em elementos verticais, a aplicação da água é feita através de mangueiras furadas com vertimento contínuo, funcionando semelhante a sprinklers. (SOUZA; RIPPER, 1998).

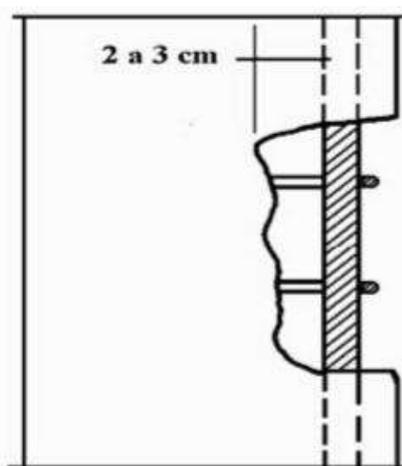
A técnica consiste em umedecer a superfície, no entanto, é preciso tomar muito cuidado para que não exista poças de água.

2.7.1.5 Corte

O método de corte do concreto é muito utilizado pelos profissionais da área de recuperação de estruturas no Brasil, trata-se da remoção do concreto de uma maneira não tão superficial quanto a do apicoamento, mas dada como menos destruidora que uma demolição. Os equipamentos utilizados também são medianos, podendo-se citar o martelo, entre 6kg a 10kg, e o ponteiro em ponta viva.

Mais precisamente, o corte pode ser definido como a extração profunda de todo material em deterioração e que apresente risco danoso às armaduras. A profundidade do corte deve ultrapassar cerca de 2-3cm da barra ou possuir o diâmetro da mesma, esse procedimento é realizado para que o entorno da barra seja inteiramente limpo. (GONÇALVEZ, 2015; SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 22 – Corte de concreto mostrando a profundidade de remoção



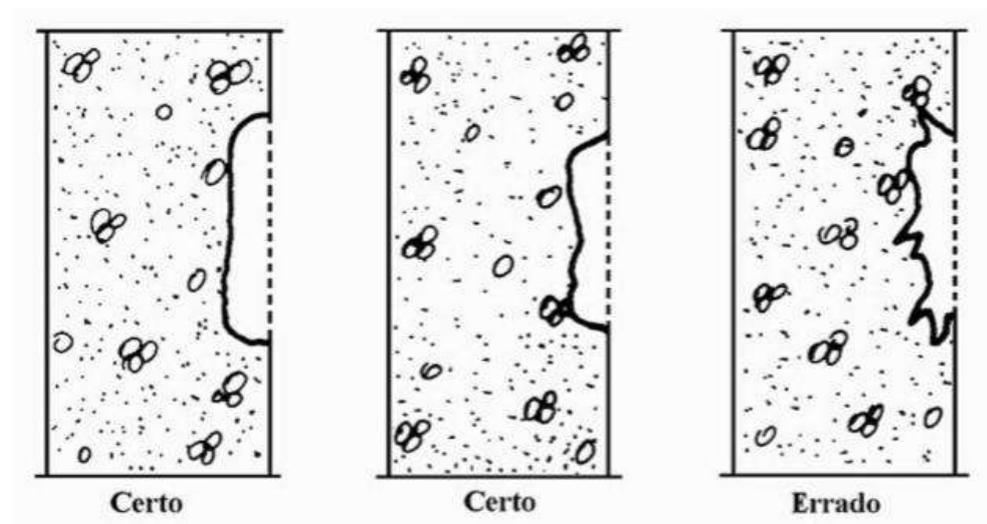
Fonte: Souza e Ripper, (1998).

De acordo com Cánovas (1988) apud Gonçalves (2015), em determinados casos, dependendo da resistência residual, nível de degradação e extensão da peça, se faz necessário o escoramento, esse fator pode dificultar a execução e aumentar os custos.

A extensão longitudinal, ou seja, o comprimento do corte é definido pelo bom senso e experiência do executor, porém deve-se ter muito cuidado para garantir a remoção de todo material contaminado, pois por mais discreto que seja, tal processo pode prejudicar toda a recuperação, retomando a degradação da estrutura. Por outro lado, o exagero pode significar um prejuízo econômico desnecessário e a agressão indevida ao elemento estrutural pode pôr em risco sua segurança. (GONÇALVEZ, 2015).

Em casos de remoção muito profunda, o corte deve ser efetuado no formato de talude (1:3) e suas arestas devem ser arredondadas (Figura 19), visando garantir uma boa aderência durante a execução do novo material de recuperação. Após o corte do concreto, o processo tem continuidade com a limpeza do local através de jatos de areia, ar comprimido e água, respectivamente. (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 23 – Aspecto final da cavidade na intervenção de corte do concreto



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

2.7.2 Tratamento de fissuras

Existem diversas técnicas de tratamento de fissuras porém, para que sejam bem executadas, é essencial que a causa desse problema patológico seja identificado, sendo importante também definir se trata-se de uma fissura passiva ou ativa, bem como se a peça precisara de algum tipo de reforço estrutural, caso tenha perdido parte de sua capacidade de resistência. Todavia, independente desses fatores, o tratamento de fissuras sempre irá procurar a vedação dessas, tendo como propósito impedir o acesso de líquidos e gases que poderiam contaminar o concreto e a armadura.

Em casos de fissuras ativas, a vedação será desenvolvida a base de materiais elásticos, ou seja, uma obstrução macia que permita a estrutura conviver com a patologia, mas ao mesmo tempo, impedindo sua degradação, esse tipo vedação funciona semelhante à uma junta de dilatação não planejada. Persistindo tal condição, a peça continuará a se abrir, se não no mesmo local que estaria mais resistente, ao menos do lado, tornando a recuperação inútil. Já

em casos passivos, ou que seja possível solucionar a causa de uma fissuração ativa, ou seja, tornando-a passiva, a vedação deve ser feita com material aderente e resistente, de modo a permitir que a estrutura volte a trabalhar como um todo. (FIGUEIREDO, 1989; SOUZA; RIPPER, 1998).

2.7.2.1 Injeção de fissuras

A técnica de injeção deve ser utilizada em fissuras com abertura acima de 0,1mm, realizada sempre sob baixa pressão, exceto em fendas maiores que 3mm, em que a injeção pode ser executada por gravidade. O procedimento visa o preenchimento de todo o espaço formado entre as bordas de uma fenda, seja ela passiva, em que o material injetado é de maior resistência, como epóxi ou grouts, ou ativa, onde utiliza-se materiais mais elásticos, como resinas acrílicas ou poliuretânicas. A eficiência desta técnica está diretamente ligada ao material escolhido, devendo ser o mais adequado a situação, à experiência do aplicador e à seleção adequada da bomba de injeção, pois a pressão exigida varia de acordo com espessura e profundidade da fissura. (GONÇALVEZ, 2015; SOUZA; RIPPER, 1998).

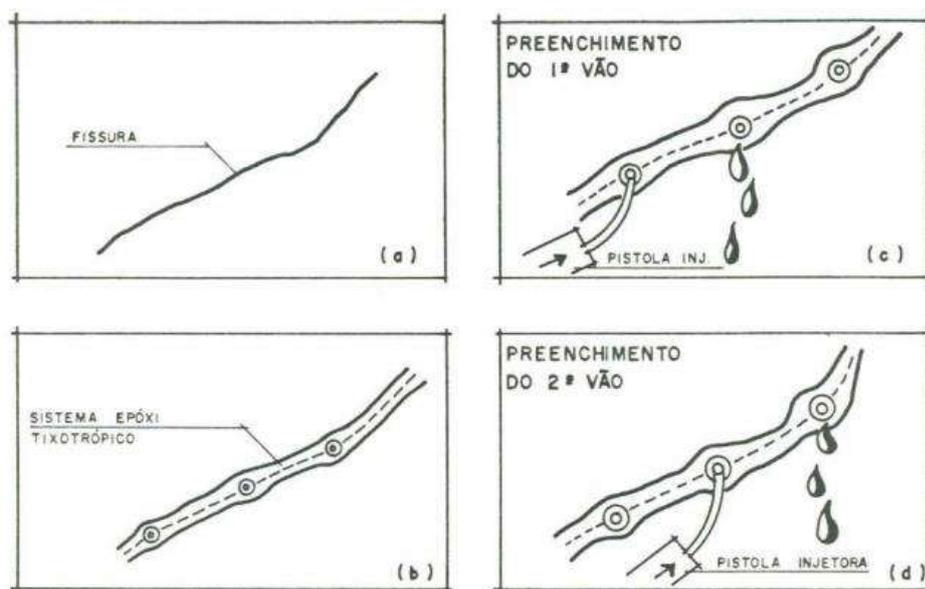
As resinas do tipo epóxi são geralmente as mais utilizadas em fissuras inativas, por apresentarem ausência de retração, baixa viscosidade, boa aderência e alta resistência, endurecimento rápido, além de serem muito resistentes contra agentes agressivos.

De acordo com Souza e Ripper (1998), a injeção em fissuras é executada seguindo os procedimentos listados a seguir:

- I. Abertura de orifícios com auxílio de uma furadeira ao longo da fissura. O diâmetro dos furos deve ser de aproximadamente 10mm, realizados com espaçamento entre 50mm e 300mm, dependendo da espessura da patologia. A profundidade dos furos não deve ultrapassar 1,5 vezes a profundidade da fissura;
- II. Efetuar uma limpeza rigorosa da fenda, ou conjunto de fissuras, com o objetivo de remover toda e qualquer partícula solta, seja sujeiras já existentes, bem como as advindas da furação. A limpeza deve ser desenvolvida através de jatos de ar comprimido, seguidos de aspiração;
- III. Utilizando-se de adesivos de pega rápida, tubos plásticos são fixados em cada orifício. O tubo deve possuir um diâmetro pouco inferior ao do furo e apresentar parede não muito espessa. Através do tubo será injetado o material de vedação;

- IV. Selar a fissura e fixar os tubos, através do uso de cola epóxi bicomponente, com o auxílio de espátula ou colher de pedreiro. Ao redor dos tubos deve-se aplicar uma quantidade ainda maior de cola, para garantir a fixação dos mesmos;
- V. Após a secagem da cola epóxi, um teste será desenvolvido utilizando-se de ar comprimido para comprovar a eficiência da selagem e a intercomunicação entre os tubos. Caso não haja comunicação entre os furos, o espaçamento entre os mesmos é diminuído e novos furos serão abertos novos, reiniciando o ciclo de operações;
- VI. Uma vez comprovada a comunicação entre os tubos, além da eficiência do sistema e a escolha adequada do material, deve-se iniciar a injeção, partindo dos tubos inferiores para os superiores. Enquanto a injeção é executada em um furo, o tubo seguinte será aberto, prosseguindo assim com a injeção após ser notada a saída do material por ele (conforme figura 20).

Figura 24 – Procedimento de preenchimento da fissura a começar pelos tubos inferiores até o último tubo superior



Fonte: Figueiredo, (1989).

Caso seja verificada dificuldades na entrada da resina, a pressão deve ser mantida por períodos maiores, se a pressão se elevar exageradamente ou não for observado pressão nenhuma, caracteriza-se como fuga de resina e a injeção deve ser suspensa. Se o procedimento ocorrer corretamente, quando for observada a fuga de resina no tubo seguinte, o primeiro deve ser vedado e dado continuidade ao processo. Os tubos plásticos podem ser removidos um dia

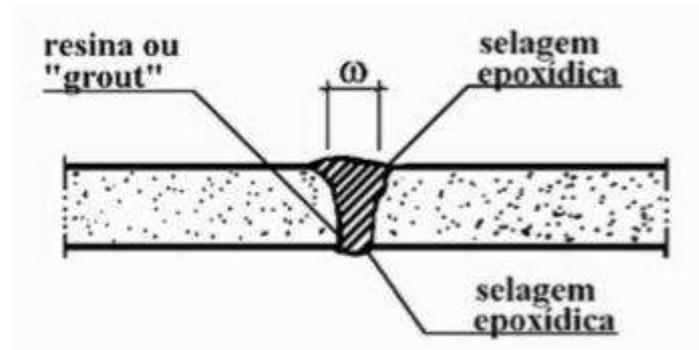
após finalizada a injeção, e as irregularidades dos locais em que estavam fixados devem ser corrigidas com o uso da própria cola de injeção. (SOUZA; RIPPER, 1998).

2.7.2.2 Selagem de fissuras

Conforme Souza e Ripper (1998), o método de selagem consiste em selar as bordas de fissuras ativas, através de um material aderente, que seja resistente mecanicamente e quimicamente, retrativo e com elasticidade o suficiente para acompanhar a deformidade da fissura.

De acordo com Thomaz (1989) apud Gonçalves (2015), quando se trata de fissuras menores que 10mm, a selagem será realizada com o auxílio de uma espátula ou colher de pedreiro, utilizando cola epóxi bicomponente (semelhante a etapa IV na técnica de injeção). Em fissuras com abertura entre 10mm e 30mm, é feito uma espécie de vala em formato de V, a qual posteriormente será limpa, visando a retirada de resíduos e pó, por fim a fenda será preenchida com grout, procedendo-se a selagem das pontas através de cola à base de epóxi.

Figura 25 – Selagem de fendas com abertura entre 10mm e 30mm

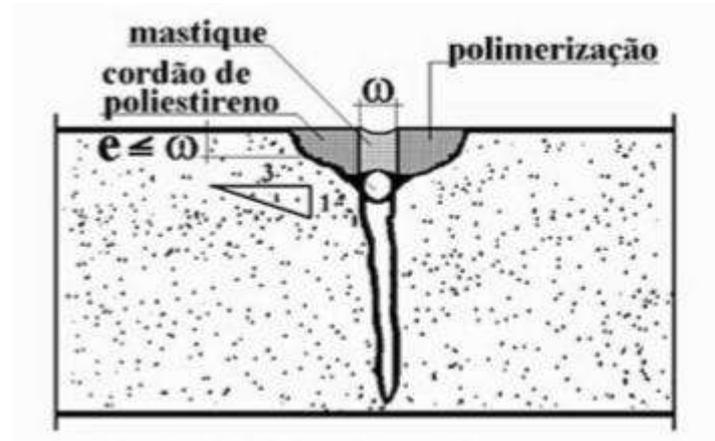


Fonte: Souza e Ripper, (1998).

Fendas maiores que 30mm devem ser tratadas como juntas de dilatação, sendo primeiramente executado um sulco em formato de V e realizada a limpeza (como descrito nos casos de fissuras com abertura entre 10mm e 30mm), em seguida um cordão de poliestireno extrudado é inserido ou, em casos de menor movimentação, uma mangueira plástica. Se o selante utilizado for mastique, o cordão de poliestireno ou mangueira plástica, possuirá como função evitar que o mastique atinja o fundo da fenda, o que poderia ser prejudicial à estrutura, além de servirem como material de preenchimento, possibilitando uma economia de selante. Normalmente as bordas das juntas e o cordão são pincelados com primário à base de epóxi,

servindo como ligação aderente entre o concreto e o selante. Por último, é aplicado o masticue, de uma só vez, pressionando o bico da bisnaga ao fundo da junta, após o preenchimento é realizado cuidadosamente o alisamento da superfície.

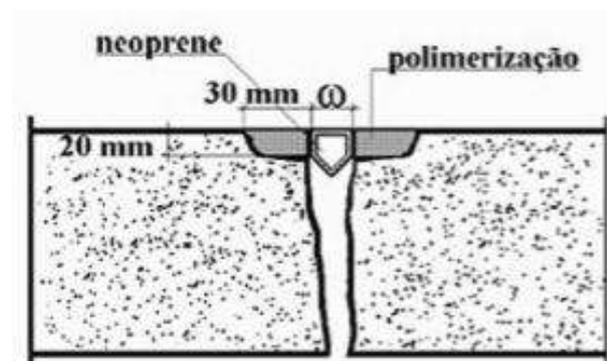
Figura 26 – Vedação de fendas de grande abertura utilizando masticue



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

Em casos de fendas muito grandes, pode-se optar também pela utilização de borracha neoprene especial como material de vedação, essa cumpre com ambas as funções do masticue e cordão. A colagem é efetuada através de adesivos epoxídicos e posteriormente uma leve pressurização faz com que o adesivo se espalhe ao entorno de toda borracha, garantindo a aderência necessária para fixação.

Figura 27 – Vedação de fendas de grande abertura utilizando neoprene



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

Em qualquer um dos casos é necessário o reforço da superfície da borda externa da fenda, para assegurar que a reparação seja satisfatória, impedindo a perda de aderência localizada, o que levaria ao fracasso e ineficácia da selagem. Esse reforço é fundamental, pois o concreto nessa região é mais fraco devido ao contato com as fôrmas na concretagem e,

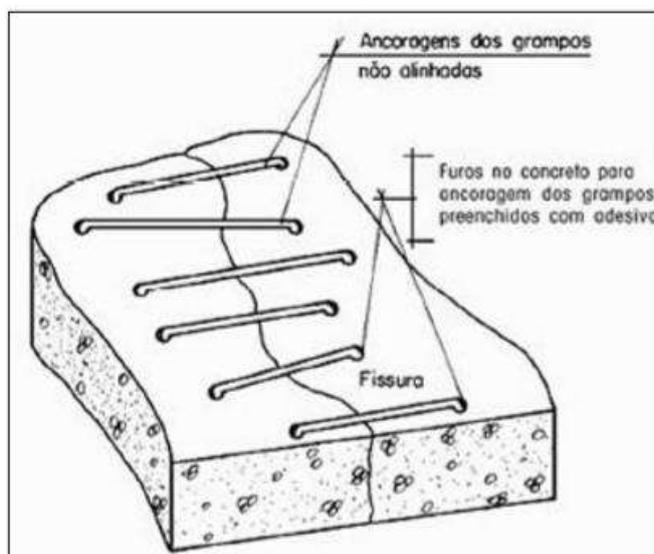
principalmente, por conta da resistência perdida na abertura da fenda. (SOUZA; RIPPER, 1998; GONÇALVEZ, 2015).

2.7.2.3 Costura de fissuras

A costura de fissuras, também conhecido como grampeamento, é utilizada em situações específicas em que há a existência de fissuras ativas e o crescimento da mesma se dá pela deficiência localizada, provinda da capacidade resistente do concreto. A técnica consiste em dispor armaduras adicionais em forma de grampos, de modo a resistir aos esforços de tração adicionais que provocam a abertura da fenda. É importante ressaltar que a aplicação do grampeamento só pode ser executada se a causa da fissuração se encaixar no quadro citado, pois o processo causa a rigidez localizada na peça, o que pode levar a novas fissuras caso o diagnóstico se encontrar errado.

Se possível, recomenda-se o descarregamento da estrutura antes de iniciar o procedimento. Deve-se realizar a abertura de berços na superfície do concreto e furação nas extremidades, os quais posteriormente iram abrigar as armaduras de costura. Os grampos serão dispostos em inclinações e tamanhos diferentes, visando evitar os esforços em linha (conforme figura 24). Precedente ao grampeamento, a fissura é vedada em um nível inferior ao berço, através da injeção de resinas epóxicas ou cimentícias. Com os buracos já preenchidos e adesivados, efetua-se a disposição dos grampos nos berços executados e o enchimento dos mesmos com o adesivo que foi usado para selagem. (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 28 – Reparo de fissura feito por costura



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

2.7.3 Reparos e reforços em elementos estruturais de concreto armado

Uma estrutura de concreto armado pode apresentar vários níveis de problemas patológicos e, quando isso ocorre, se faz necessário uma intervenção que impeça que sua integridade seja atingida. Quando os serviços executados proporcionam à estrutura o emprego de materiais com a finalidade de aumentar ou reconstituir sua resistência, a essas atividades nomeia-se de reforços estruturais, caso contrário denomina-se recuperação, ou reparo da estrutura.

A partir da profundidade das doenças encontradas na estrutura, os serviços de reparo ou recuperação podem ser classificados em: reparos superficiais; semiprofundos; profundos. Os reparos superficiais que apresentam profundidade inferior à 2cm, empregam-se em pequenas áreas, executados em superfícies menores que 15cm², quando a profundidade for maior, realiza-se em áreas maiores. Reparos semiprofundos são executados em profundidade entre 2cm e 5cm, geralmente acabam atingindo as armaduras, fazendo-se necessária a realização de uma limpeza de 2cm a 3cm. Por fim, os reparos profundos atingem profundidades maiores que 5cm, nesses casos todo concreto danificado deve ser cuidadosamente removido, de maneira a garantir a aderência com o material de reparação que será utilizado. (SOUZA; RIPPER, 1998).

2.7.3.1 Reparos utilizando concreto

De acordo com Souza e Ripper (1998) e Marcelli (2007), existem diversas técnicas de reparo utilizando-se do concreto, sendo essas:

- a) Com agregado pré-colocado: esse método é utilizado em diversas situações, inclusive em locais submersos e de difícil acesso. Consiste em preencher antecipadamente as fôrmas com agregado graúdo bem compactado, em seguida o agregado deve ser irrigado ou preenche-se a cavidade a ser reparada com água, assim injeta-se uma argamassa bem fluida composta por um pouco de água, para garantir a mistura, cimento, areia e pozolana. A injeção é realizada até a expulsão da água e preenchimento total dos vazios. A pozolana possui como função garantir a fluidez da argamassa e reduzir processos como a exsudação e segregação, sendo conveniente também a aplicação de aditivos retardadores de pega, plastificantes e expansivos. Tendo em vista que a injeção da argamassa é feita sob pressão, as fôrmas devem ser estanques e bem reforçadas, para impedir

o vazamento da mesma, deixa-se apenas uma abertura na parte superior permitindo uma rota de fuga para a água e o ar, sendo todos os vazios assim preenchidos. Esse tipo de concreto apresenta baixa retração, pois os agregados graúdos possuem contato entre si, tornando-os apropriados para reparos em peças com concreto endurecido;

- b) Concreto convencional: por ser economicamente mais viável em relação a outros materiais de recuperação, o concreto comum é uma alternativa em superfícies muito extensas, as quais exigem um volume grande de preenchimento. Trata-se de uma técnica que requer alto nível de conhecimento do preparo do concreto, pois para que seja eficaz deverá ser dosado adequadamente, possuir um baixo fator água/cimento e a aplicação precisa ser de forma técnica. O procedimento consiste em substituir o concreto deteriorado por um novo, que seja o mais compatível possível com o concreto base, de forma a tornar monolítico o elemento estrutural. O novo concreto deve apresentar resistência maior ou igual a da peça em recuperação, granulometria compatível e possuir uma boa trabalhabilidade, podendo ser melhorada através de aditivos fluidificantes. A tarefa deve ser cuidadosamente executada e o concreto vigorosamente compactado, adotando o processo de cura que mais se adequar à situação;
- c) Concreto projetado: possui funções parecidas com o procedimento de reparo através de concreto convencional, porém o preparo e a aplicação são feitos de forma diferente. O concreto é transportado por uma mangueira e é projetado em alta velocidade (acima de 120m/s) na superfície que será restaurada, a força do jato faz com que o concreto seja auto aderido, sem necessidade de vibração e fôrmas, estando a peça em qualquer posição (vertical, horizontal ou inclinada). A mistura pode ser feita de duas maneiras, por via seca, quando a mistura dos agregados e cimento é realizada à seco e a água é adicionada somente no bico do projetor, sendo controlada pelo aplicador, ou por via úmida, em que todos os componentes são misturados na câmara da máquina de projetar. A segunda opção elencada, torna mais fácil o controle de qualidade da água, sem depender diretamente do conhecimento técnico do profissional que aplicará a projeção. É de extrema importância a limpeza da superfície na qual será feita a projeção, deve-se remover todo concreto deteriorado, ferrugem das armaduras, graxas, óleos, tudo que possa prejudicar a aderência, a aplicação será executada em

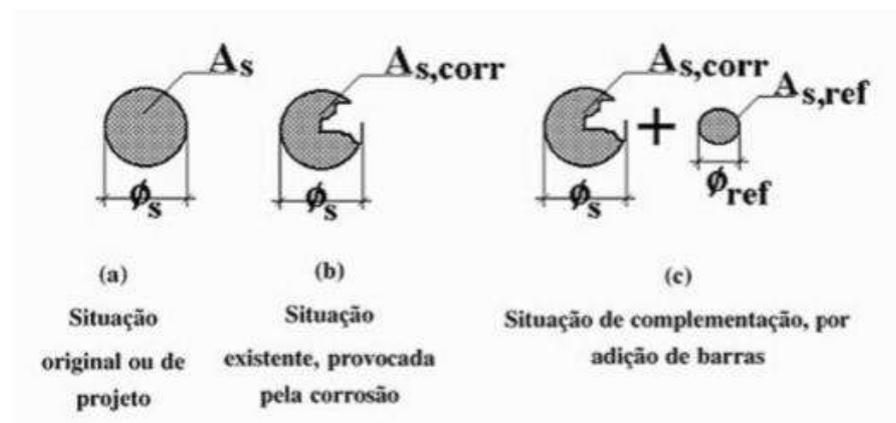
camadas de no máximo 50mm. Como o concreto é projetado sob pressão, torna-se normal a perda de material por ricochete, o que varia de acordo com o posicionamento do canhão, pressão do ar, quantidade de cimento utilizada na mistura e diâmetro dos agregados, além da densidade das armaduras e espessura da camada, por esses motivos não é recomendado para pequenas restaurações.

2.7.3.2 Reforço através do aumento da seção transversal

É comum a necessidade de aumento do número de barras em meio a serviços de recuperações de problemas patológicos, seja com a finalidade de elevar a resistência da peça ou para recuperá-la, por conta de, por exemplo, armaduras corroídas que perderam sua seção. Independente do caso, a inserção de novas barras e aumento da seção transversal do elemento estrutural deve ser muito bem detalhada, pois se não estiverem devidamente arranjadas poderão causar complicações, o que implicará diretamente na durabilidade da recuperação, tornando o serviço insatisfatório.

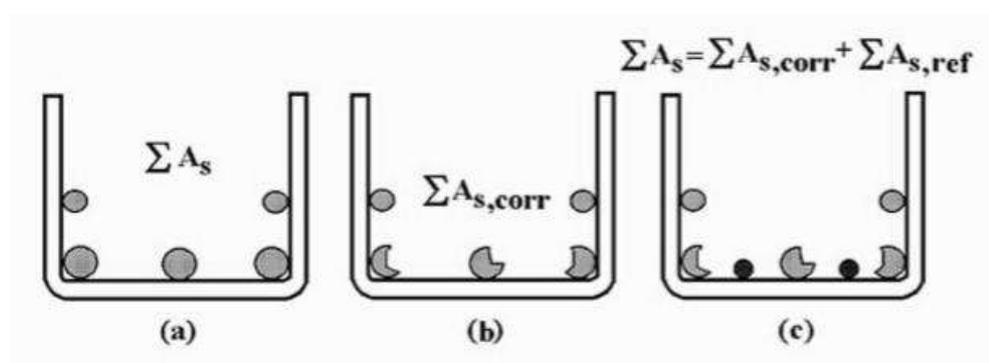
Quando a seção original das barras estiverem 15% corroídas, recomenda-se desenvolver a complementação com novas barras (conforme figura 25), porém esse limite de 15% é discutível, principalmente em casos mais graves, em que não se deve levar à risca esse padrão. Em outras situações a barra não será analisada de forma isolada, mas sim a seção transversal como um todo, nesses casos as barras adicionais somadas com as existentes devem totalizar a área de aço original de projeto. (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 29 – Reposição da seção original de aço por adição de novas barras



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

Figura 30 – Reposição da seção transversal original através da adição de novas barras



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

De acordo com Granato (2002) apud Gonçalves (2015), a restauração de armaduras é feita seguindo as seguintes etapas:

- I. Corte da barra no espaço danificado;
- II. Substituição do pedaço removido por uma nova barra, a qual deverá ser soldada ou amarrada com arame, respeitando seu transpasse, ou seja, quanto a armadura de complemento deve se sobrepôr a armadura sã do elemento;
- III. Execução de uma limpeza da superfície;
- IV. Aplicação de resina epóxi nas armaduras e no concreto, cuja função é servir como ponte aderente entre os concretos, assim como película para o aço;
- V. Reconstrução do elemento estrutural, utilizando-se de concreto ou argamassa.

2.7.3.3 Reforço com fibras de carbono

A adição de fibra de carbono junto as estruturas de concreto armado é uma tecnologia moderna, por conta de sua fácil aplicação e alta resistência vem sendo muito utilizada em serviços de reforço estrutural, outra vantagem desse sistema é que não oferece riscos de corrosão. (GONÇALVES, 2015).

Segundo Machado (2002), as estruturas que utilizam fibra de carbono como elemento resistente apresentam as seguintes características:

- I. Excelente resistência mecânica;
- II. Elevado índice de rigidez;
- III. Bom desempenho à fadiga e à atuação de cargas cíclicas;
- IV. Alta resistência a ataques químicos;

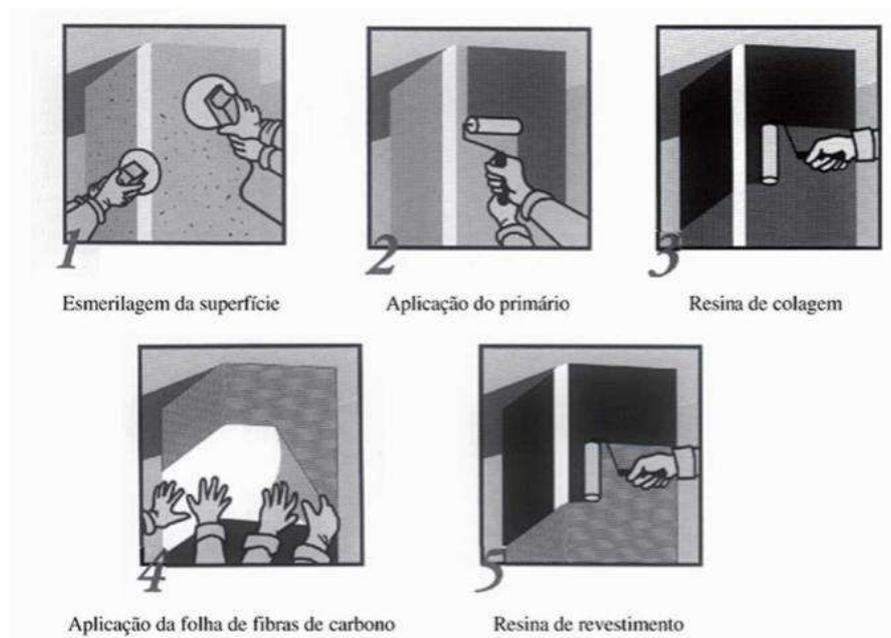
- V. Imunidade à corrosão;
- VI. Resistência térmica e reológica;
- VII. Leveza por conta do baixo peso específico do sistema.

Para que a estrutura reforçada com fibras de carbono atinja seu máximo desempenho, a mesma precisa ser aplicada da forma mais correta possível, podendo dividir o processo em duas etapas, a de preparação da superfície e a de aplicação do material propriamente dito.

O primeiro passo é remover as sujeiras e a nata de concreto da superfície, utilizando-se de uma esmerilhadeira, a fim de melhorar a absorção do primário que será aplicado posteriormente, garantindo a melhoria de aderência. Caso existam imperfeições geométricas ao longo da superfície, deveram ser reparadas com argamassa epóxicas e devidamente alisadas com espátula, as arestas vivas serão arredondadas de modo a atingir raio mínimo de curvatura na ordem de 30mm.

Com a superfície preparada adequadamente, pode-se aplicar o primário, o qual terá como função melhorar as características do concreto da superfície, bem como garantir a adesão do compósito. A fibra de carbono deve ser desenrolada e cortada na exata medida do reforço em execução. Após uma hora de secagem do primer, pode-se aplicar, na sequência, uma camada de resina colante, as folhas flexíveis de fibra de carbono, além de uma última camada de resina de revestimento das fibras, retirando-se com cuidado os excessos. (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 31 – Procedimento de aplicação das folhas flexíveis de fibra de carbono



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

De acordo com os autores anteriores, seguindo esse procedimento pode-se aplicar até 10 camadas de fibra de carbono, porém é recomendado que sejam feitos testes de desempenho a partir da sexta camada. As camadas seguintes são aplicadas sequencialmente, servindo a camada precedente como base para as outras, porém pode-se ainda introduzir outras camadas em até 7 dias, neste caso a resina colante deverá ser utilizada previamente.

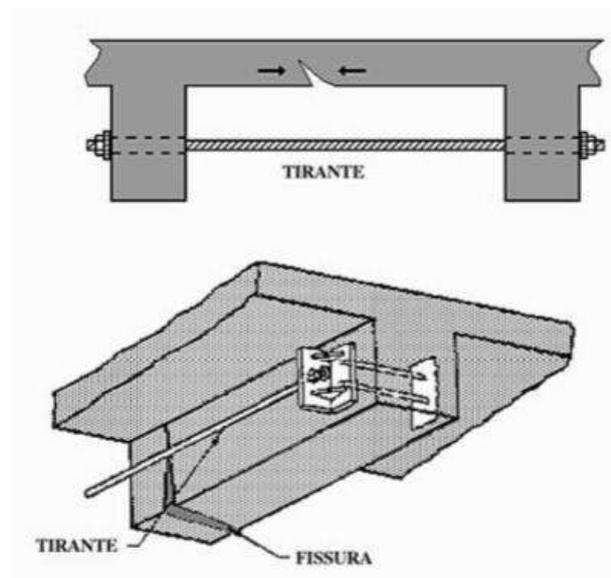
2.7.3.4 Reforço através de protensão externa

O reforço em estruturas de concreto através da protensão externa, consiste em inserir esforços exteriores que sejam capazes de corrigir tensões internas indesejáveis, ou ainda, que sejam capazes de contribuir para a elevação de resistência da peça. A implementação dessa técnica pode ser dada como complexa e exige a atuação de profissionais qualificados para realizar o dimensionamento e sua execução, se faz necessário também o uso de equipamentos e materiais de ótima qualidade.

Segundo Souza e Ripper (1998), a técnica vem sendo muito utilizada em recuperações e reforços estruturais, podendo-se elencar, de maneira resumida, os processos com destaque incluindo tal material:

- a) Costura de fendas em vigas: efetuada pela introdução de um tirante, exercendo força no sentido contrário ao de formação da fissura;

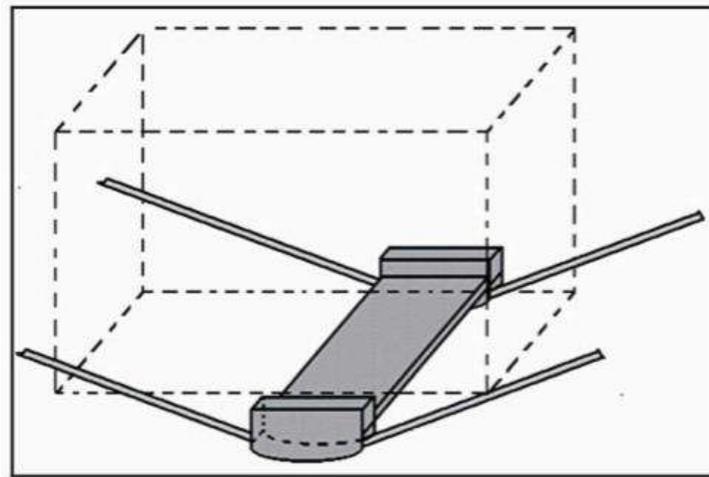
Figura 32 – Costura de fissuras por protensão exterior



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

- b) Inibição de deformações: executado da mesma forma que a costura de fendas em vigas;

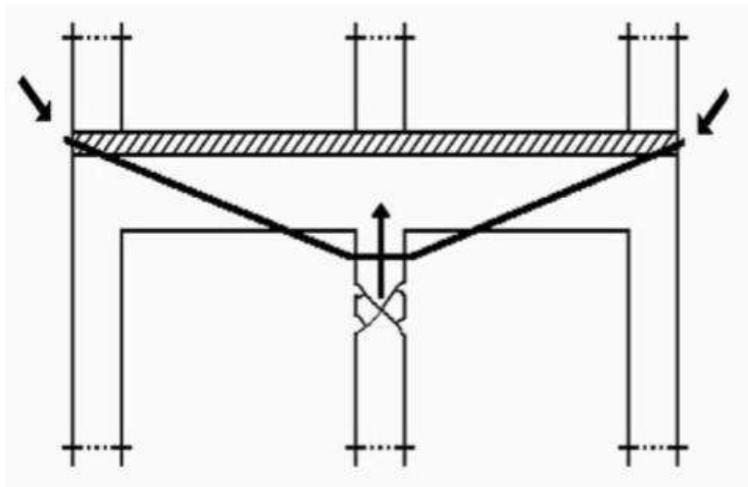
Figura 33 – Inibição de deformações por aplicação de protensão exterior



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

- c) Elemento provocador de redistribuição de esforços em peças contínuas: faz com que vãos e apoios mais críticos sejam aliviados e os adjacentes carregados, trabalhando no seu limite. A execução pode variar em cada caso;

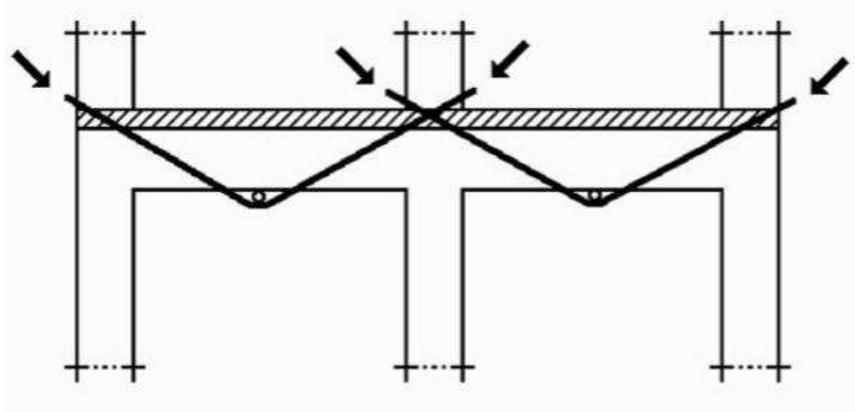
Figura 34 – Redistribuição de esforços através de protensão exterior



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

- d) Reforço da peça: realizado com adição de aço protendido, o que aumenta sua capacidade resistente;

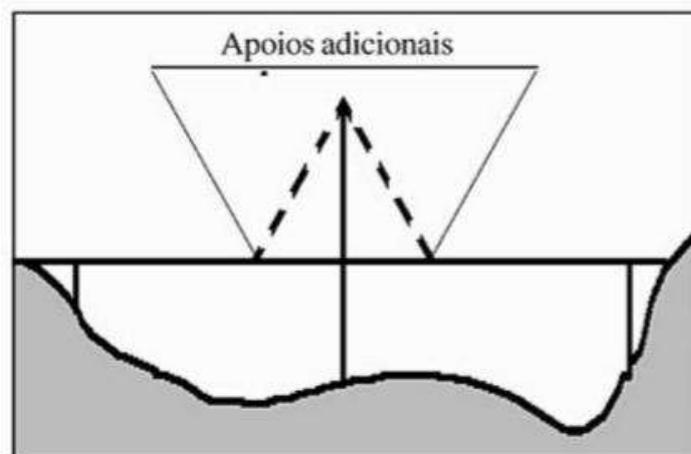
Figura 35 – Reforço de vigas à flexão, por adição de aço protendido



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

- e) Criação de apoios adicionais: funcionam como tirantes e melhoram a distribuição de cargas entre as vigas de uma ponte.

Figura 36 – Criação de apoios adicionais através de protensão exterior



Fonte: Souza e Ripper, (1998).

A protensão exterior é uma técnica que exige diversas condições de execução, dentre elas, destaca-se a garantia e eficiência de ancoragem dos cabos, se essa vier a falhar durante a protensão, todo o cabo será afetado tornando-o inútil como elemento resistente. Portanto entendesse que para implantação da técnica é exigido um elevado grau de conhecimento. Os detalhes executivos são semelhantes ao de uma obra nova e todos os serviços preliminares se fazem necessários, tais como, vedação de fissuras e limpeza do concreto.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho acadêmico foi elaborado através de uma investigação de abordagem qualitativa, utilizando-se da pesquisa bibliográfica e documental como estratégia de desenvolvimento em nível exploratório, tendo como objetivo delimitar as principais manifestações patológicas encontradas visualmente na Ponte Nereu Ramos, além de sugerir testes para a confirmação de tais doenças da estrutura e possíveis meios de recuperação.

3.1 OBJETO DE ESTUDO: PONTE NEREU RAMOS

O município de Tubarão – SC recebeu seu primeiro nome com base em seu rio e foi através do mesmo que a região se desenvolveu. Em 1773, o rio era muito utilizado como meio transporte, sendo que a única maneira de transpor o mesmo era através de balsas. Na década de 30, o então governador do estado, Nereu Ramos, preocupado com a falta de meios de transporte de uma margem para outra do rio, implantou a primeira ponte na cidade de Tubarão. Inaugurada em 11 de fevereiro de 1939, a obra trouxe consigo um grande crescimento econômico. (PEREIRA; SPADER, 2016).

Figura 37 – Ponte Nereu Ramos na década de 50



Fonte: Arquivo histórico de Tubarão, (2018).

Devido ao grande desenvolvimento e aumento de população no município, a ponte Nereu Ramos já não atendia mais o fluxo de veículos. Em 1960, o governador de estado da época, Heriberto Hulse, trouxe consigo a construção de uma segunda ponte, a qual ligava-se à antiga. Em meio as três décadas seguintes, as demais pontes do município foram construídas, sendo estas as pontes: Orlando Francalacci; Dilney Chaves Cabral; Manoel Alves dos Santos. (PEREIRA; SPADER, 2016).

Figura 38 – Pontes Heriberto Hulse e Nereu Ramos



Fonte: Arquivo histórico de Tubarão, (2018).

Por se tratar de uma ponte antiga, atualmente com 80 anos de uso, apresentando somente manutenções superficiais efetuadas pela prefeitura, como por exemplo, a aplicação de novas camadas tinta e troca de lâmpadas nos postes fixados a mesma, a obra vem trazendo consigo diversas preocupações a população. Atualmente problemas patológicos podem ser encontrados visualmente pela estrutura, os quais podem causar até mesmo acidentes.

Além da preocupação para com a manifestação de doenças na estrutura e a falta de manutenções apropriadas existem ainda sobrecargas, pois a ponte comporta um volume maior de veículos, sendo esses mais pesados com relação a época em que foi projetada. Tal dedução pode ser realizada aprofundando-se nas normas vigentes em época.

A primeira normativa brasileira a abordar o tema de cargas móveis em OAE foi a NB6 (ABNT, 1943), inspirada em sistemáticas europeias (Eurocode e DIN), na qual os trens tipos considerados para efeito de cálculo eram compostos por compressores, caminhões de dois eixos e multidão. Presume-se então que a ponte Nereu Ramos foi dimensionada tendo como

base essas normativas europeias, pois foi inaugurada no ano de 1939. Somente a partir da década de sessenta surgiram os trens-tipos de três eixos, considerados ainda em projetos até os dias atuais.

Conforme Pereira e Spader (2016), a obra conta também com um semáforo ao final de sua pista de rolamento, o que resulta em um aumento de cargas de aceleração e frenagem provindas dos automóveis que trafegam sobre a ponte.

Figura 39 – Ponte Nereu Ramos em 2007



Fonte: Becker, (2007).

3.2 COLETA DE DADOS

Após a escolha do tema em questão pela dupla de acadêmicos, delimitou-se como objeto de estudo a ponte Nereu Ramos, a qual possui uma extensão total de 140m e larguras da pista de rolamento e passeio correspondentes a 5,00 e 1,50 metros, respectivamente. A obra interliga a avenida Padre Geraldo Spettmann, localizada no bairro Humaitá, com a rua Coronel Colaço, situada no centro do município.

O desenvolvimento da pesquisa teve seu início através da inerente necessidade de aprofundamento na área de estudo em que o tema proposto se enquadra, Patologia, o qual foi alcançado através de pesquisas bibliográficas, tendo como base livros, normativas e demais documentos.

Posteriormente, uma inspeção visual foi efetuada sobre a superestrutura e mesoestrutura da ponte, sob o auxílio da orientadora da pesquisa e Engenheira Civil, Daiana Saviam da Silva, tendo como base a NBR 9452 (ABNT, 2016), que se trata de inspeções em pontes, viadutos e passarelas de concreto. O modelo de ficha de inspeção mais bem enquadrado na situação apresentada e disponível para acesso foi a ficha para inspeções especiais, retirado da normativa citada anteriormente.

Com base nos registros fotográficos realizados e as informações extraídas, um questionário foi elaborado sobre os problemas patológicos presentes na OAE, tendo por objetivo desenvolver uma comparação entre a opinião do público alvo, engenheiros civis formados e atuantes na área, e a obtida através dos estudos até então desempenhados. A junção das respostas pode ser empregada para o desenvolvimento de um mapeamento de tais problemas patológicos na estrutura, indicando possíveis testes a serem executados para a confirmação das doenças, assim como os meios de recuperação mais indicados para cada caso.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através deste tópico, serão demonstrados os resultados obtidos conforme os objetivos elencados para o desenvolvimento da pesquisa, sendo estes: inspeção visual e fotográfica desenvolvida na ponte Nereu Ramos; aplicação de um questionário sobre os problemas patológicos levantados à profissionais da área de engenharia civil; compilação das informações alcançadas.

4.1 INSPEÇÃO DESENVOLVIDA E DADOS OBTIDOS

Para o avanço da pesquisa, primeiramente, um levantamento do máximo de dados possíveis referente a ponte Nereu Ramos foi efetuado, através da reunião de documentações fornecidas pela prefeitura do município e trabalhos antecessores sobre a obra. Os projetos originais da estrutura se perderam em meio a enchente que tomou conta da cidade em 1974, desde então, nenhum esquema novo foi traçado.

Em um segundo momento, importantes informações foram obtidas através de uma inspeção visual e fotográfica realizada no objeto de estudo pelos acadêmicos em conjunto com a orientadora e Engenheira Civil, Daiana Saviam da Silva.

O tipo de inspeção visual empregada se baseou na Inspeção Extraordinária, conforme consta na NBR 9452 (ABNT, 2016), que fornece relatório específico, com descrição da obra e informa os problemas patológicos, incluindo mapeamento, registros fotográficos e terapias recomendadas. A norma em questão não disponibiliza um modelo de ficha específica para inspeções extraordinárias, sendo assim o modelo de ficha adotado foi para inspeções especiais, tendo por objetivo auxiliar no registro de informações, presente no anexo A. A seguir pode-se observar alguns dados iniciais obtidos sobre a estrutura da ponte.

Quadro 1 – Descrição da Obra

Idade da estrutura	80 anos
Comprimento total (m)	140
Largura entre longarinas (m)	3,7
Quantidade de vãos	7
Classe	30
Pilares	Do tipo pórtico em concreto armado
Vigas	Em concreto armado
Juntas de dilatação	Abertas com cantoneira metálica

Fonte: Autores, 2019.

A partir dos registros adquiridos durante a vistoria, juntamente com a pesquisa bibliográfica realizada, foi possível destacar os problemas patológicos de maior gravidade e extensão encontradas na obra, bem como destacar seus possíveis mecanismos de ocorrência, os principais ensaios a serem empregados para sua comprovação e sugestões de meios de recuperação para tais doenças.

4.1.1 Problema patológico: corrosão de armaduras

Foram localizadas armaduras expostas em diversos pontos da estrutura, como abaixo das longarinas de encontro e nos pilares centrais, esses absorvem diretamente as forças de aceleração e frenagem geradas pelas cargas móveis, pois a estrutura é do tipo pórtico e não contém aparelhos de apoio. Algumas dessas armaduras se encontram em estado de corrosão avançado, com perda significativa de bitola e ausência dos estribos, os quais foram totalmente corroídos, como pode ser observado nas figuras 40, 41 e 42.

Figura 40 – Armadura exposta sob uma das longarinas



Fonte: Autores, (2019).

Figura 41 – Armadura exposta sob a outra longarina da ponte



Fonte: Autores, (2019).

Figura 42 – Armaduras expostas nos pilares centrais da estrutura



Fonte: Autores, (2019).

Diversos mecanismos de ocorrência podem ter levado a estrutura a este estado, dentre eles, é possível destacar os três mais prováveis baseando-se nas bibliografias anteriormente apresentadas, juntamente com ensaios que poderiam ser efetuados visando sua confirmação, sendo elencados a seguir:

- a) Em obras desse estilo, é comum encontrar o concreto da superfície em estado de carbonatação e é evidente a falta de cobrimento adequado das armaduras, provavelmente, provocado pela ausência de espaçadores durante a execução da obra. A soma desses dois fatores criou um ambiente de baixo pH, propício para corrosão do aço. No topo dos pilares a alta porosidade do concreto e o aumento de cargas móveis podem ter agravado ainda mais a situação e causado o deslocamento da camada de recobrimento. Para a confirmação dessa hipótese seria indispensável verificar se o cobrimento das armaduras está de acordo com o previsto em norma e em seguida submeter o elemento ao ensaio desenvolvido com indicador químico a base de fenolftaleína, a fim de obter a profundidade de carbonatação do concreto;

- b) Ataque de cloretos desencadeado em decorrência de processos de difusão e capilaridade, os quais ao atingirem a armadura em conjunto com o oxigênio e a umidade, iniciam o processo de corrosão eletroquímica. O ensaio mais recomendado nesse caso seria o método de potenciometria, para determinar em laboratório o teor de cloretos presentes no concreto analisado;
- c) A alta porosidade do concreto é um dos principais causadores de corrosão em obras de concreto armado, pois facilita o transporte de fluídos como água e substâncias agressivas em meio a estrutura até chegar nas armaduras. Nesse caso seria necessário o emprego de ensaios de absorção de água por imersão e porosidade, os quais objetivam, respectivamente, a capacidade de absorção de água no concreto e a relação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra, através do cálculo do índice de vazios.

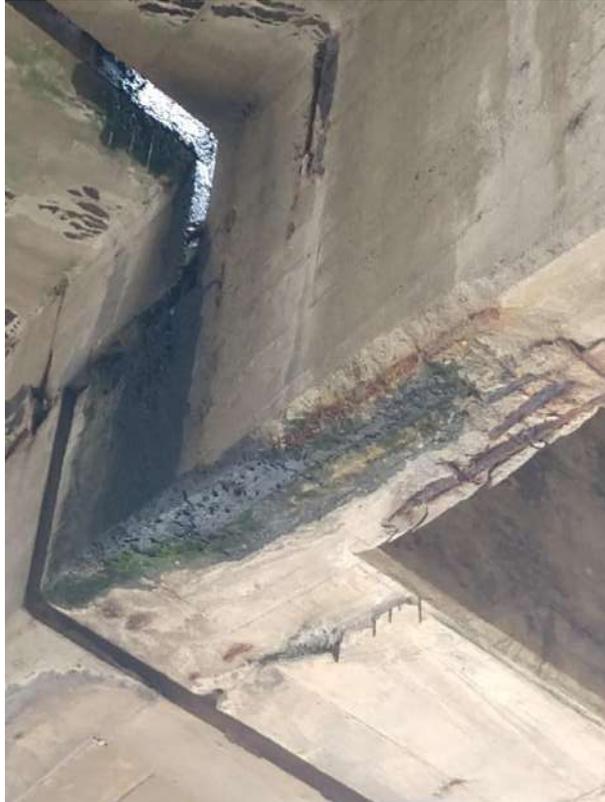
Considerando o mecanismo de ocorrência apontado na alternativa “a” como o mais provável, um levantamento de possíveis meios de tratamento para o problema patológico foi apresentado.

- a) A recuperação mais simples e de menor custo seria o apicoamento do concreto danificado e limpeza através de escovação manual das armaduras, para posteriormente realizar o recobrimento da peça com concreto ou argamassa;
- b) Para o tratamento adequado, seria necessário uma limpeza por meio de jatos de água alternados com areia afim de remover todo concreto carbonatado e todas impurezas provindas da corrosão das armaduras, em seguida aplicar resina epóxi para impermeabilizar o local, por fim, reconstruir a peça por encamisamento, pois a perda de seção das bitolas pode ter enfraquecido a estrutura.

4.1.2 Problema patológico: eflorescência em conjunto com corrosão de armaduras

Abaixo das juntas de dilatação, foram localizadas manchas e estalactites formadas por eflorescência, bem como armaduras expostas em estado de corrosão. A inspeção foi realizada em um dia chuvoso por conta disso foi possível observar a ausência de um sistema de drenagem, toda água da chuva que cai sobre a ponte segue seu curso até as juntas de dilatação, onde é escoada para baixo da estrutura, como mostra as figuras 43 e 44.

Figura 43 – Corrosão e eflorescência registradas sob uma das juntas de dilatação



Fonte: Autores, (2019).

Figura 44 – Armadura exposta nas longarinas



Fonte: Autores, (2019).

Foram destacados os meios pelos quais esses problemas patológicos costumam se desenvolver em uma estrutura de concreto armado, bem como, os ensaios mais importantes a serem aplicados nesses casos.

- a) A carbonatação do concreto pode ter causado a corrosão das armaduras, esse processo é o resultado da dissolução de CO_2 , presente na atmosfera, sobre o cimento hidratado, formando assim o carbonato de cálcio. O concreto doente cria um ambiente vulnerável para as armaduras, devido ao baixo nível de pH, o que leva ao processo de corrosão. Para confirmar essa opção a peça deve ser submetida ao ensaio de determinação de carbonatação do concreto com um indicador químico a base de fenolftaleína;
- b) Todo componente de concreto está suscetível à formação de eflorescências, um dos meios pelos quais essas manchas aparecem se dá pelo transporte da água que se infiltra na estrutura e leva consigo até a superfície o hidróxido de cálcio, ao reagir com o dióxido de carbono, produz o carbonato de cálcio. Esse processo é chamado de lixiviação por pressão hidrostática, a água que transporta essas substâncias é a água da chuva, por conta da ausência de drenagem adequada, que além de causar a formação de eflorescências, atinge também as armaduras, as quais já se encontram em estado de corrosão, como pode ser observado em diversos pontos. Nesse caso, os ensaios mais importantes seriam os de determinação de índices de vazios, capacidade de absorção de água e o teor de umidade, além de submeter a peça ao ensaio de resistividade elétrica para definir o potencial e velocidade de corrosão do aço.

A alternativa “b” foi selecionada como a mais provável, dessa forma alguns meios de recuperação que poderiam ser indicados para a situação estão dispostos abaixo:

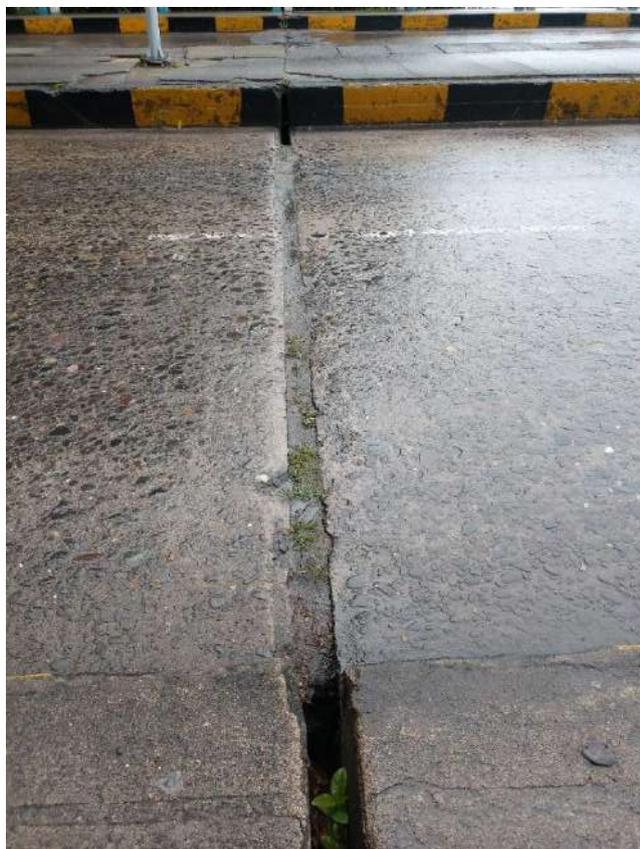
- a) A maneira mais barata seria realizar uma simples limpeza, utilizando-se de jatos d'água sob pressão para retirada do carbonato de cálcio da superfície e posteriormente efetuar o recobrimento das armaduras com argamassa;
- b) Desenvolver uma limpeza por meio da aplicação de soluções ácidas e posteriormente restituir a peça com concreto impermeável. Se faz necessário a implantação de um sistema de drenagem para evitar que o problema volte a ocorrer. A utilização de soluções ácidas exige um cuidado ainda maior pois pode danificar ainda mais a estrutura;
- c) A alternativa mais correta seria efetuar uma limpeza através de jatos alternados de água e areia para retirada do carbonato de cálcio da superfície e das

impurezas provindas da corrosão de armaduras, posteriormente, deve-se aplicar resina epóxi afim de impermeabilizar o local e realizar a restituição da peça com concreto impermeável. Em casos de perda de seção das armaduras, o ideal é que se faça o encamisamento do elemento. Para que o problema não persista se faz necessário a implantação de um sistema de drenagem nas juntas de dilatação da ponte.

4.1.3 Problema patológico: deficiência nas juntas de dilatação

A estrutura da ponte Nereu Ramos conta com duas juntas de dilatação, do tipo aberta com cantoneiras metálicas, localizadas na parte inicial e final dos tabuleiros, ambas se encontram obstruídas e apresentam problemas que podem ser constatados visualmente, como por exemplo, as cantoneiras metálicas arrancadas e danificadas, assim como a abertura excessiva de uma junta e o estreitamento da outra, conforme exposto nas figuras 45, 46 e 47.

Figura 45 – Junta de dilatação obstruída com abertura excessiva



Fonte: Autores, (2019).

Figura 46 – Junta de dilatação com excessiva abertura



Fonte: Autores, (2019).

Figura 47 – Junta de dilatação oclusa com espaçamento fechando-se



Fonte: Autores, (2019).

A junta de dilatação observada com um espaçamento menor do que o esperado (figura 47) se localiza próximo ao semáforo, implementado em uma das cabeceiras da ponte. A situação apresentada pode ter sido gerada pelos seguintes mecanismos de ocorrência:

- a) Uma das juntas apresenta excessiva abertura em decorrência do deslocamento do concreto em conjunto com as cantoneiras metálicas, causado pela movimentação dos veículos, enquanto a outra se encontra em seu tamanho normal;
- b) O excesso de movimentação, gerado devido a aplicação de cargas de frenagem e aceleração providas dos automóveis que param no semáforo, fez com que a ponte trabalhasse de modo que uma das juntas se abrisse e a outra, que está mais próxima ao semáforo, fechasse. Esse tipo de junta possui vida útil reduzida por conta do impacto dos veículos, o que resultou na danificação das cantoneiras metálicas, somado a falta de manutenções e limpezas, ambas as juntas se encontram obstruídas.

A alternativa “b” será considerada como a mais provável. A seguir estão dispostos os possíveis meios de recuperação:

- a) Efetuar a correção do concreto presente nos bordos da junta de dilatação e inserir novas cantoneiras metálicas;
- b) Realizar uma limpeza nas juntas afim de desobstruí-las para posteriormente executar o macaqueamento da estrutura, tendo por objetivo restaurar os espaçamentos anteriormente existentes, por fim, corrigir o concreto presente nos bordos das juntas e instalar novas cantoneiras metálicas;
- c) Como o reparo ideal, foi escolhido modificar o tipo de junta atualmente construída, por exemplo, proceder os métodos necessários para construir duas juntas de dilatação seladas com material elástico, o que corrigiria problemas relativos a falta de drenagem na estrutura e desgaste dos bordos, ocasionados em virtude do fluxo de automóveis.

4.2 QUESTIONÁRIO APLICADO

A partir dos dados obtidos por meio da inspeção visual empregada e as considerações efetuadas com base nos estudos bibliográficos, surgiu a ideia de elaborar e aplicar um questionário, tendo como principal público alvo engenheiros civis com experiência nas

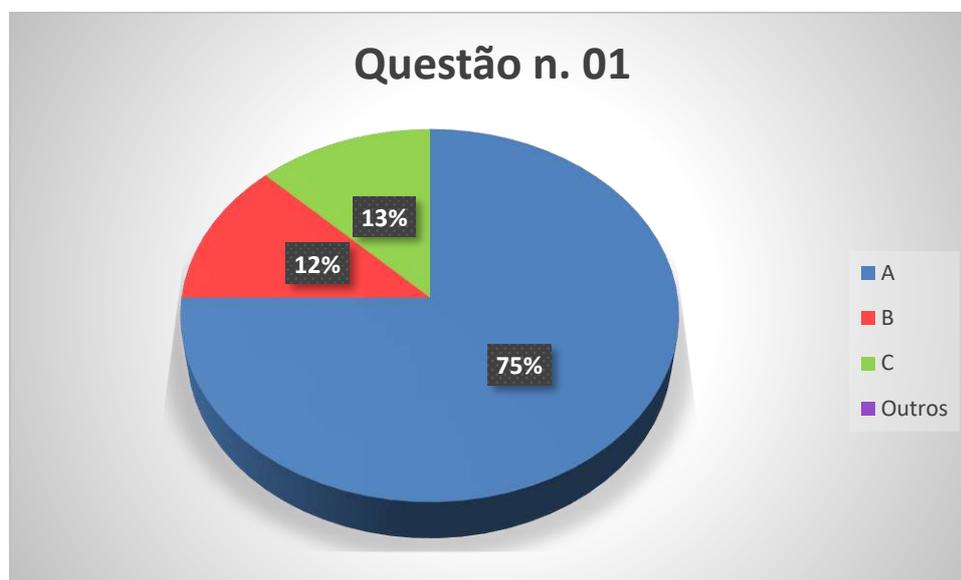
áreas de patologia e estruturas. O objetivo seria desenvolver uma comparação entre os resultados obtidos pelos acadêmicos, fundamentados em sua pesquisa, e a opinião de profissionais atuantes na área, visando efetuar uma união de conhecimentos.

A ferramenta escolhida para o desenvolvimento das questões foi a Google Formulários, por ser uma plataforma online, facilitou o envio do questionário aos seus destinatários, que ocorre por meio de um link, assim como a obtenção de respostas, já disponibilizadas em resultados gráficos.

O questionário (disponibilizado em íntegra no apêndice A) foi escrito com um breve histórico sobre a ponte Nereu Ramos e a situação em que se enquadra nos dias atuais, contém oito perguntas relacionadas aos três problemas patológicos com maior nível de manifestação e gravidade detectados, sendo esses: corrosão de armaduras; eflorescência e deficiência das juntas de dilatação. Com base nas respostas obtidas, pode-se identificar os possíveis mecanismos de ocorrência para cada doença, testes a serem empregados visando a confirmação de tais problemas patológicos, além praticáveis soluções de recuperação.

Abaixo, é possível observar os gráficos gerados com base nos resultados obtidos para cada questão, assim como os itens assinalados.

Gráfico 1 – Respostas: questão número um



Fonte: Autores, (2019).

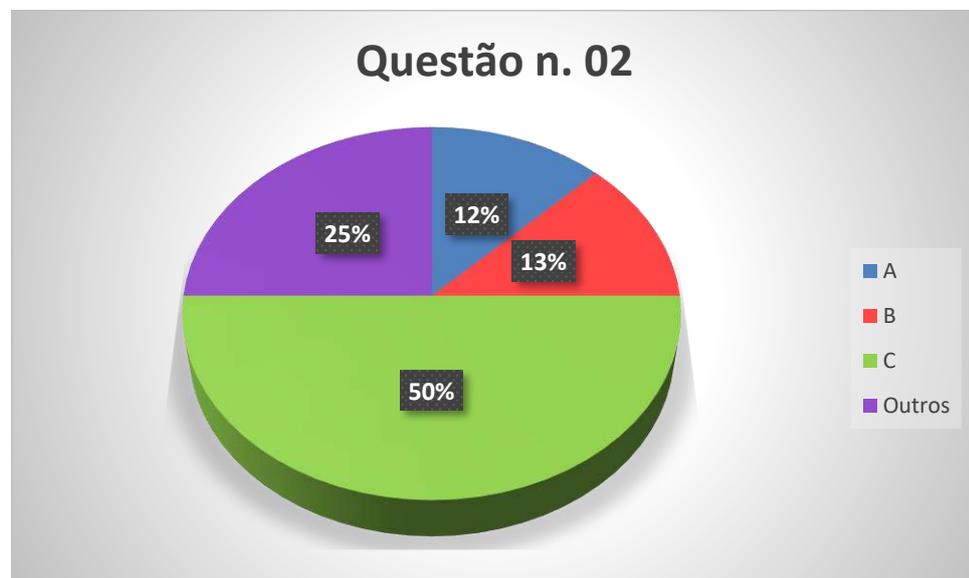
Enunciado 01: Em meio a uma inspeção visual e fotográfica realizada no dia 16 de abril de 2019 sob a ponte Nereu Ramos, foram localizadas diversas armaduras expostas em estado de corrosão, algumas em nível já avançado com perda significativa de seção. Esses

problemas patológicos podem ser encontrados tanto abaixo das longarinas de encontro como nos pilares da estrutura, os quais absorvem diretamente as forças de aceleração e frenagem geradas pelas cargas móveis, pois a estrutura é do tipo pórtico e não contém aparelhos de apoio, conforme pode ser observado nas imagens apresentadas. Diante dos fatos expostos responda qual das seguintes alternativas representa melhor o mecanismo de ocorrência desses problemas patológicos.

Itens:

- A. Devido a carbonatação, a qual alcançou as armaduras pela ausência de espaçadores durante a execução da obra. A alta porosidade do concreto presente no topo dos pilares somada ao aumento de cargas móveis sobre a ponte pode ter agravado a situação e causado o deslocamento do concreto em áreas pontuais;
- B. Ataque de cloretos, desencadeado em decorrência de processos de difusão e capilaridade, os quais atingem a armadura em conjunto com o oxigênio e a umidade, iniciando o processo de corrosão eletroquímica;
- C. Alta porosidade do concreto, causado pelo transporte de fluídos como água e substâncias agressivas em meio a estrutura.

Gráfico 2 – Respostas: questão número dois



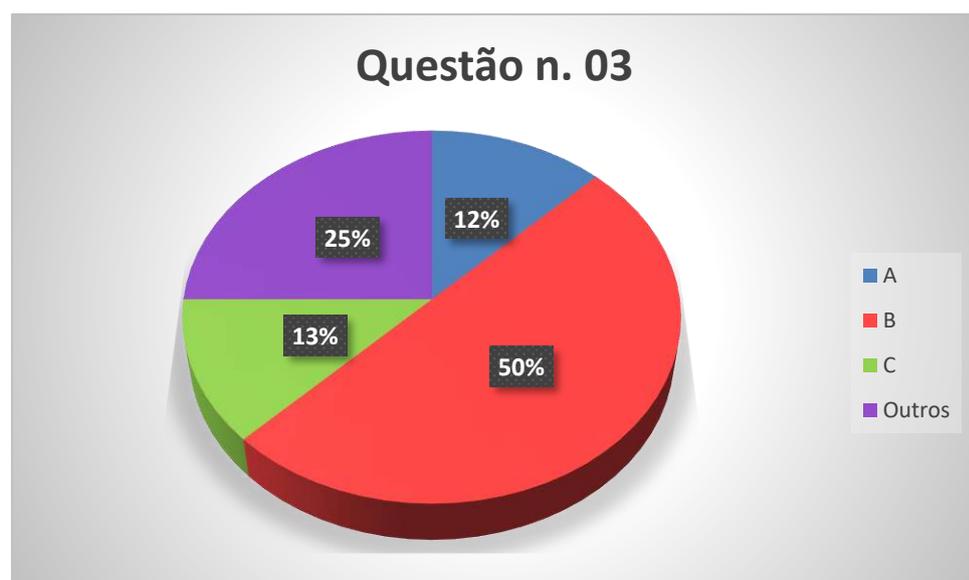
Fonte: Autores, (2019).

Enunciado 02: Com base na resposta anterior, quais testes abaixo poderiam se fazer necessários para comprovar o mecanismo de ocorrência destacado.

Itens:

- A. Emprego de ensaios de absorção de água por imersão e porosidade, os quais objetivam, respectivamente, a capacidade de absorção de água no concreto e a relação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra, através do cálculo de índice de vazios;
- B. Aplicação do método de potenciometria, o qual determina o teor de cloretos no concreto em laboratório;
- C. Verificação do cobrimento da estrutura de acordo com o previsto em norma, submetendo a mesma ao ensaio desenvolvido com indicador químico a base de fenolftaleína para obter a profundidade de carbonatação do concreto;
- D. D.1: Como o processo de corrosão já se encontra instalado e não fonte de outro agente causador de corrosão neste ambiente, como sugestão indica-se a verificação da seção de aço degradada;
- D.2: Não faz sentido comparar a estrutura de uma ponte de 80 anos com as normas atuais, a comparação deve ser realizada com as normas vigentes à época do projeto. Ensaio de profundidade de carbonatação, contaminação por cloretos, potencial de corrosão e porosidade do concreto podem ajudar no diagnóstico da causa da corrosão. Em função da idade, é de se esperar que o concreto seja poroso e o cobrimento seja menor que o especificado para uma obra dessa natureza em nossos dias.

Gráfico 3 – Respostas: questão número três



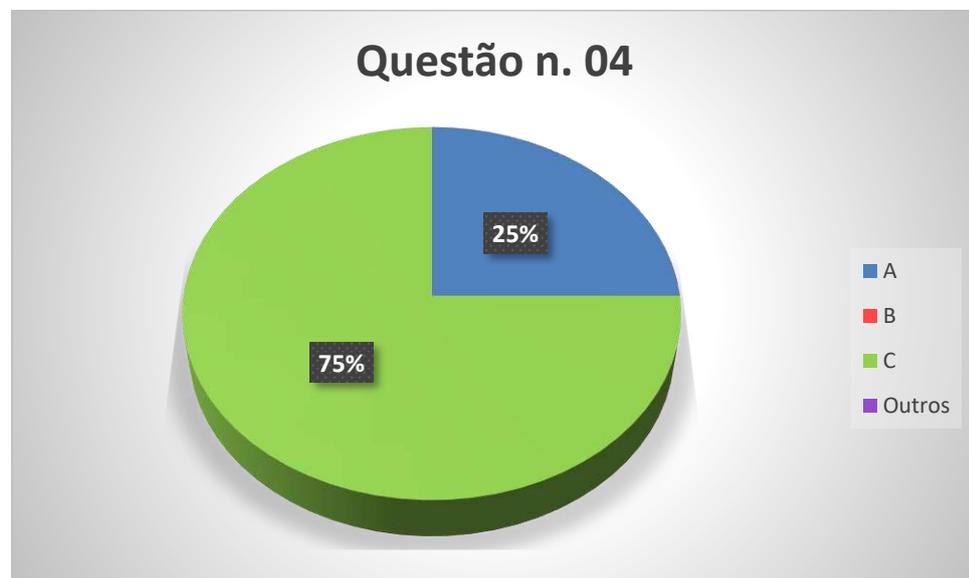
Fonte: Autores, (2019).

Enunciado 03: Dentre os meios de recuperação citados, destaque o que melhor se encaixa na situação apresentada.

Itens:

- A. Apicoamento e limpeza através de escovação manual e posterior recobrimento da peça utilizando-se de concreto ou argamassa;
- B. Limpeza por meio de jatos de água alternados com areia visando o preparo da estrutura, com aplicação de resina epóxi nas armaduras e no concreto, para a reconstrução do elemento por encamisamento;
- C. Polimento do concreto, seguido do preparo da estrutura para reconstrução da seção por encamisamento;
- D. D.1: Somente água sob pressão, não se deve utilizar jatos de areia;
D.2: Difícil especificar qualquer terapia sem um diagnóstico claro e uma avaliação custo benefício. Se os danos forem extensos talvez a recomposição de todo o cobrimento se faça necessária, mas, em caso contrário, apenas reparos localizados com posterior proteção da obra a partir de uma pintura protetora (com eficácia comprovada) apropriada ao caso.

Gráfico 4 – Respostas: questão número quatro



Fonte: Autores, (2019).

Enunciado 04: Durante a mesma inspeção pode ser constatado que a obra não possui nenhum sistema de drenagem, portanto, toda água da chuva que cai sobre a ponte segue seu curso até as juntas de dilatação, onde é escoada para baixo da estrutura. Nas imagens é possível

observar, na parte inferior, a água gotejando. Com base nessas informações e nas fotografias apresentadas, responda qual das alternativas melhor representa o mecanismo de ocorrência dos problemas patológicos averiguados, corrosão e eflorescência.

Itens:

- A. Carbonatação do concreto, como resultado da dissolução de CO₂, presente na atmosfera, sobre o cimento hidratado, formando assim o carbonato de cálcio. Ao atingir a armadura inicia-se o processo de corrosão devido ao baixo nível de Ph;
- B. A água transporta consigo hidróxido de cálcio até a superfície que reage com o dióxido de carbono do ar, após a umidade evaporar surge a eflorescência, posteriormente atacando as armaduras;
- C. O escoamento da chuva entre as juntas de dilatação se infiltra na peça e através do processo de lixiviação, por pressão hidrostática, a água desloca o hidróxido de cálcio presente no concreto até a parte inferior da estrutura, formando assim a eflorescência. A água infiltrada também entra em contato com as armaduras presentes nas transversinas levando ao quadro de corrosão.

Gráfico 5 – Respostas: questão número cinco



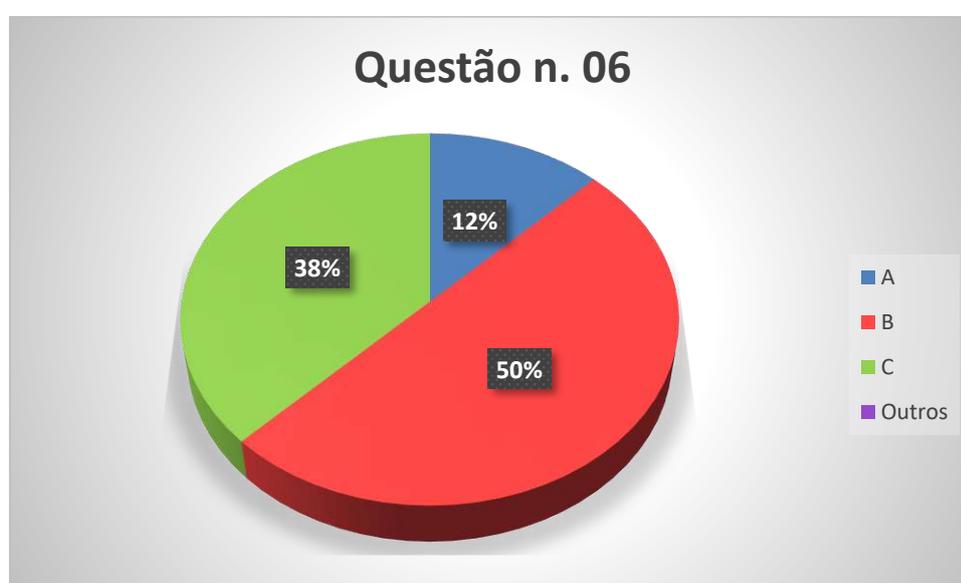
Fonte: Autores, (2019).

Enunciado 05: De acordo com o mecanismo de ocorrência escolhido, selecione qual dos testes abaixo melhor se enquadra para detectá-lo.

Itens:

- A. Submeter a peça ao ensaio para determinação de carbonatação através da aplicação de um indicador químico à base de fenolftaleína;
- B. Aplicação do ensaio de resistividade elétrica para definir o potencial e velocidade de corrosão. Determinar a capacidade de absorção de água, teor de umidade e índices de vazios do concreto;
- C. Não há necessidade de ensaios, é possível determinar os problemas patológicos visualmente.

Gráfico 6 – Respostas: questão número seis



Fonte: Autores, (2019).

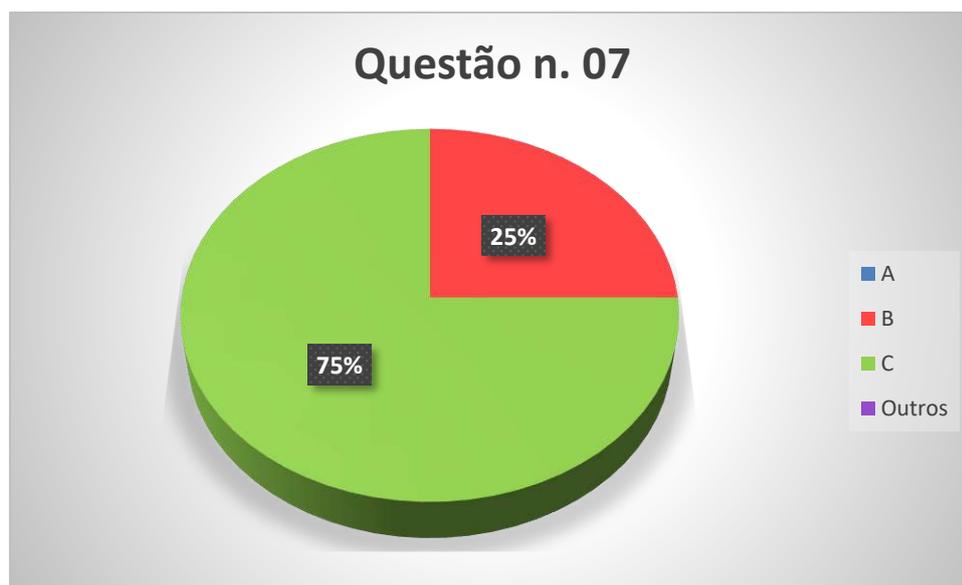
Enunciado 06: Analisando a situação exposta, quais meios poderiam ser utilizados para recuperar a peça e inibir esses problemas patológicos.

Itens:

- A. Realizar uma simples limpeza, utilizando-se de jatos d'água sob pressão para retirada do carbonato de cálcio e posteriormente efetuar o recobrimento das armaduras com argamassa;
- B. Efetuar a limpeza através de jatos alternados de água e areia, aplicação de resina epóxi e restituição da peça com concreto impermeável. Em caso de perda de seção das armaduras, o ideal é que se faça o encamisamento do elemento. Para que o problema não persista será necessário a implantação de um sistema de drenagem nas juntas de dilatação da ponte;

- C. Desenvolver a limpeza por meio da aplicação de soluções ácidas e posteriormente restituir a peça com concreto impermeável. Se faz necessário a implantação de um sistema de drenagem para evitar que o problema volte a ocorrer.

Gráfico 7 – Respostas: questão número sete



Fonte: Autores, (2019).

Enunciado 07: A estrutura da ponte Nereu Ramos conta com duas juntas de dilatação, do tipo aberta com cantoneiras metálicas, localizadas na parte inicial e final dos tabuleiros, ambas se encontram obstruídas e apresentam problemas que podem ser constatados visualmente, como por exemplo a abertura excessiva de uma e o estreitamento de outra, conforme exposto nas fotos. Diante desta situação, responda qual mecanismo de ocorrência melhor representa os problemas averiguados.

Itens:

- A. A situação apresentada ocorreu devido a movimentação natural da estrutura, comum em qualquer obra de engenharia civil. A obstrução das juntas se dá pela falta de cuidado da população para com a obra pública, não descartando seu lixo de maneira correta;
- B. Uma das juntas apresenta abertura excessiva por conta do arrancamento do concreto junto com as cantoneiras metálicas, causado pela movimentação dos veículos, enquanto a outra está em seu tamanho normal;

- C. O excesso de movimentação, causado pela aplicação de cargas de frenagem e aceleração providas dos automóveis que param no semáforo, fez com que uma das juntas se abrisse e a outra, que está mais próxima ao semáforo, fechasse. Esse tipo de junta possui vida útil reduzida por conta do impacto dos veículos, o que resultou no arrancamento das cantoneiras metálicas, somado a falta de manutenções e limpezas, ambas as juntas se encontram obstruídas.

Gráfico 8 – Respostas: questão número oito



Fonte: Autores, (2019).

Enunciado 08: Baseando-se na alternativa selecionada para a pergunta número nove, escolha o melhor método de recuperação a ser empregado nestas circunstâncias.

Itens:

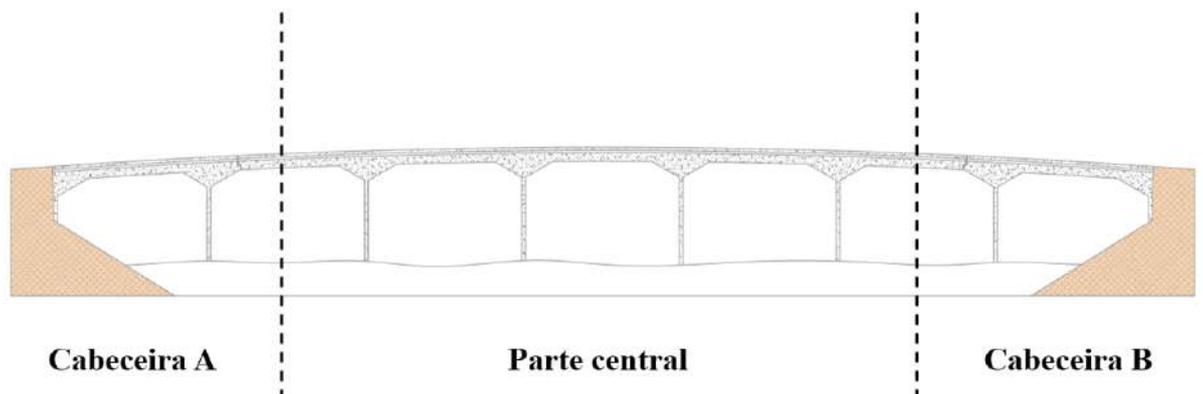
- A. Efetuar a correção do concreto presente nos bordos da junta de dilatação e instalar uma nova cantoneira metálica;
- B. Modificar o tipo de junta atualmente construída, como por exemplo, proceder os métodos necessários para construir duas juntas seladas com materiais elásticos, o que corrigiria problemas relativos a falta de drenagem na estrutura e desgaste dos bordos, ocasionados devido ao fluxo de automóveis;
- C. Realizar uma limpeza nas juntas afim de desobstruí-las para posteriormente executar o macaqueamento da estrutura, tendo por objetivo restaurar os espaçamentos anteriormente existentes, por fim corrigir o concreto presente nos bordos das juntas;

D. Desenvolver um estudo completo de projeto de recuperação.

4.3 COMPILAÇÃO DE RESULTADOS

Baseando-se no referencial teórico de diversos autores e especialistas presentes na área de Patologia e Estruturas de Concreto, somada à análise opinativa de profissionais atuantes no campo da engenharia civil, foi possível elaborar um mapeamento fotográfico (Apêndices B, C e D) dos problemas patológicos de maior gravidade e extensão localizados na ponte Nereu Ramos, assim como, elencar os prováveis mecanismos de ocorrência que desenvolveram tais doenças, ensaios e testes a serem empregados e a sugestão de possíveis meios de recuperação para o tratamento da estrutura.

Figura 48 – Traçado da vista lateral da Ponte Nereu Ramos com divisões utilizadas



Fonte: Autores, (2019).

O mapeamento foi dividido em três partes para possibilitar uma melhor visualização, sendo essas: Cabeceira A; Parte Central; Cabeceira B.

5 CONCLUSÃO

Conforme o exposto durante o desenvolvimento deste trabalho, a Ponte Nereu Ramos, localizada no município de Tubarão/ SC, apresenta diversas manifestações patológicas ao longo de sua estrutura, dentre essas, doenças graves já em estado avançado de deterioração e outras mais superficiais. A obra em questão apresenta circunstâncias agravantes, como por exemplo, a idade da estrutura, atualmente com 80 anos, a ausência de manutenções periódicas, aumento no volume de cargas móveis devido a alterações do tipo de tráfego e a instalação de um semáforo pelo final de sua pista de rolamento, o que gera cargas adicionais de frenagem e aceleração, as quais muito provavelmente não foram previstas em projeto.

A partir dessas informações, uma pesquisa foi elaborada elencando os problemas patológicos de maior gravidade e manifestação localizados na ponte, tendo por intuito propor possíveis meios de recuperação para os mesmos, no entanto, para a determinação da melhor terapia a ser empregada se fez necessário destacar seus prováveis meios de ocorrência, que levariam ao surgimento dessas anomalias, assim como quais métodos de ensaio não destrutivos devem ser aplicados para a confirmação de cada caso.

Para que a pesquisa fosse desenvolvida de forma coerente, se fez necessário o aprofundamento na área de Patologia, através de livros, trabalhos acadêmicos, artigos, revistas, instruções normativas e diversos outros documentos. Dessa forma, foi possível reunir informações referentes aos principais problemas patológicos presentes em obras de concreto armado, quais métodos de ensaio são mais aplicados atualmente e os diversos meios de recuperação que podem ser empregados. A continuidade do estudo de caso se deu através da realização de uma inspeção visual e fotográfica, seguindo a recomendação para inspeções extraordinárias, descrita na NBR 9452 (ABNT, 2016).

Com o objetivo de alcançar uma maior confiabilidade a pesquisa e aos resultados encontrados, um questionário foi elaborado descrevendo o contexto em que a OAE se encontra atualmente, contendo fotografias em anexo de cada manifestação patológica e sua localização, visando um melhor entendimento do público alvo, engenheiros civis com especialização nas áreas de Estrutura e Patologia. Por meio de oito perguntas, os acadêmicos possuíam por finalidade descobrir quais mecanismos de ocorrência desencadeariam as manifestações patológicas evidenciadas na visão de um profissional formado, baseado em sua experiência, assim como recomendações de ensaios e possíveis métodos de reparo para cada caso.

Os resultados obtidos puderam ser considerados como satisfatórios, pois houve concordância entre as alternativas obtidas pelos acadêmicos com base no referencial teórico e

as respostas dos engenheiros com relação ao questionário. A partir desses resultados, um mapeamento da obra estudada foi desenvolvido, demonstrando a localização dos problemas patológicos mais graves e com maior ocorrência através de um traçado da vista lateral da ponte e registros fotográficos das anomalias, anexando legendas com a descrição dos mecanismos de ocorrência, ensaios a serem realizados e meios de recuperação recomendados.

Segundo Souza; Ripper (1998) e Helene (1993), as principais deficiências encontradas na estrutura relacionadas a carbonatação do concreto são um tipo de mecanismo que ao se aprofundar na estrutura cria um ambiente de baixo pH, propício a corrosão, podendo estar presente tanto nas armaduras como no concreto. Vitório (2003) conclui que no processo de lixiviação hidrostática a água infiltrada no concreto carrega consigo partículas de hidróxido de cálcio até a superfície, ao reagir com o dióxido de carbono produz o carbonato de cálcio, o que forma as eflorescências. Os problemas nas juntas de dilatação, do tipo aberta, são comumente encontrados em obras de arte especiais conforme Lima; Brito (2009) e Ferreira (2013).

Através desse estudo pode-se constatar então que a ponte Nereu Ramos necessita de mais atenção, carecendo de manutenções, pois ao longo desses 80 anos a obra não recebeu nenhum tipo de reparo estrutural ou patológico. Por meio da inspeção desenvolvida, o referencial teórico elaborado e a opinião dos especialistas obtida, esse estudo trouxe à tona diversas informações acerca das anomalias encontradas e propõem um caminho a ser seguido, para que essa obra tão importante para o município possa continuar cumprindo com seu propósito.

Infelizmente, parece ser um pensamento habitual do poder público brasileiro e da população em geral se preocupar mais em construir e inaugurar obras novas do que em manter o bom funcionamento das já existentes, com manutenções periódicas. Essa mentalidade precisa ser combatida, através do bom senso e da informação. O presente trabalho pode servir como incentivo, seja para alertar a todos sobre os riscos que a falta de manutenções oferece, como demonstrar que existem soluções viáveis para sanar tais doenças, entretanto, precisam ser estabelecidas imediatamente, pois a cada ano os problemas se agravam.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Daniel de Lima. **Projeto de ponte em concreto armado com duas longarinas**. Goiânia, 1999. Apostila apresenta à disciplina de Pontes ministrada no curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779**: argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995. 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005. 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452**: inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2008. 54p.
- CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: IBRACON, 2008.
- CRISTELLI, Rafael. **Pavimentos industriais de concreto**: análise do sistema construtivo. 2010. 161 f. Monografia (Especialização em Construção Civil)-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 010/2004-PRO**: inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido: procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **IPR 709**: manual de inspeção de pontes rodoviárias. Rio de Janeiro, 2004.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **IPR 744**: manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários. Rio de Janeiro, 2010.
- DIÁRIO DO SUL. **Túnel do tempo**. Disponível em: <http://diariosul.com.br/SITE2015/tunel_do_tempo/709/Ponte-Nereu-Ramos/Heriberto-Hulse-em-Tubarao-vista-da-Margem-Direita-em-1963.html>. Acesso em: 28 de out. 2018.
- EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 2002. 239p. Tese (Doutorado)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2002.
- FELIPPE, Waldir N. **Avaliação dos coeficientes de impacto utilizados no cálculo de pontes rodoviárias via análise dinâmica de estruturas**. 2008. 47 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.
- FERREIRA, Carlos M. Sebastião. **Tipologia, instalação, funcionamento e manutenção de diversos tipos de juntas de dilatação em Obras de Arte**. 2013. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013.
- FIGUEIREDO, Enio José Pazini. **Terapia das construções de concreto**: metodologia de avaliação de sistemas epóxi destinados à injeção de fissuras passivas das estruturas de

concreto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.

GENTIL, V. **Corrosão**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 353p.

GONÇALVEZ, Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

HEERDT, Mauri Luiz; LEONEL, Vilson. **Metodologia Científica e da Pesquisa**. 5. ed. Palhoça: Unisul Virtual, 2007.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. 248p. Tese (Livre Docência)-Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 1993.

JESUS, João Jorge Carrazedo. **Caracterização Geométrico-Estrutural de Pontes em Arco de Alvenaria na Região de Bragança**. 2013. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção)-Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2013.

LEE, Shu Han. **Projeto Geométrico de Estradas**. Florianópolis, 2000. Apostila apresentada à disciplina a disciplina de Projeto Geométrico de Estradas aos cursos de Engenharia Civil e Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina

LIMA, João Marques; BRITO, Jorge. Classificação das juntas de dilatação em obras de arte rodoviárias Portuguesas. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, v. 9, n. 14, p. 31-41, out. 2009.

MACHADO, Ari de Paula. **Manual de reforço das estruturas de concreto armado com fibras de carbono**. São Paulo: Viapol, 2002.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de Concreto Armado**. 1. ed. São Paulo: BLUCHER, 2008.

MEDEIROS, Marcelo H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, Paulo. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: ISAIA, Geraldo (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2011, p. 773-808.

MENDES, Diogo. **14 obras-primas arquitetônicas espalhadas por todo o mundo**. Disponível em: <<http://www.relativamenteinteressante.com/2017/06/14-obras-primas-arquitetonicas.html>>. Acesso em: 20 set. 2018.

NEPOUCENO, M. C. S. **Ensaio não destrutivo em betão**. 1999. 469p. Tese (Livre Docência)-Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 1999.

OLIVEIRA, Alexandre M. Alves; PIEROTT, Rodrigo M. Ribeiro. **Projeto de dimensionamento de uma ponte em concreto armado sobre o Rio Ururaí**. 2016. 174 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil)-Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2016.

PAULUCI, Claudemir. **Laguna Ponte estaiada**. Disponível em:

<<https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/laguna-cable-stayed-bridge-445025767?src=yFN7vd-W0i6fx4oOYdkQGg-1-9>>. Acesso em: 20 set. 2018.

PEREIRA, L. F. F. C. **Determinação de cloretos em concreto de cimentos Portland: influência do tipo de cimento**. 2001. 167p. Dissertação (Mestrado)-Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

PFEIL, Walter. **Pontes em Concreto Armado**. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1990.

PINHO, Fernando Ottoboni; BELLEI, Ildony Hélio. **Pontes e Viadutos em Vigas Mistas**. Rio de Janeiro: IBS/ CBCA, 2007.

PREFEITURA DE AREAL. **Prefeito Flávio Bravo declara situação de emergência em Alberto Torres com obras paradas**. Disponível em: <<http://areal.rj.gov.br/prefeito-flavio-bravo-declara-situacao-de-emergencia-em-alberto-torres-com-obras-paradas/>>. Acesso em: 20 set. 2018.

PREFEITURA DE PARANAÍBA. **Prefeitura pretende construir pontes de concreto na zona rural**. Disponível em: <<http://www.paranaibams.com.br/noticias/ver.php?id=73>>. Acesso em: 20 set. 2018.

SAHUINCO, M. H. C. **Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto**. 2011. 170p. Dissertação (Mestrado)-Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

SANTOS, Altair. **O que causou a da ponte em Gênova, na Itália?** Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/o-que-causou-a-queda-da-ponte-em-genova-na-italia/>>. Acesso em: 11 set. 2018.

SANTOS, J. M. M. N. D. **Avaliação da integridade estrutural de pontes de betão – o caso da ponte Nossa Senhora da Guia**. 2008. 244p. Dissertação (Mestrado)-Universidade do Porto. Porto, 2008.

SARTORTI, Artur Lenz. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas-SP**. 2008. 205 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

SILVA, L. M. A. **Resistividade elétrica superficial do concreto: Influência da cura**. 2016. 68f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

SOUZA, Vicente C. Moreira; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1. ed. São Paulo: PINI, 2009.

SPADER, Camille Menegaz; PEREIRA, Jasmine Luiza D. Mendes. **Elaboração de diagnóstico das pontes Heriberto Hulse e Nereu Ramos sito ao município de Tubarão, em nível de engenharia conceitual: um estudo de caso**. 2016. 82 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil)-Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2016.

SPIANDORELLO, Wilson Paloschi. Pesquisa científica, TCC e outros modelos de avaliações de trabalhos de conclusão de curso. In: Universidade de Caxias do Sul. **Conjectura: filosofia e educação**. 2. ed. Caxias do Sul: EDUCS, 2012. cap. 10, p. 219-228.

STANCHEVA, Sevda. **Tronco de árvore caído que constrói uma ponte sobre uma cachoeira do rio da floresta**. Disponível em: <<https://pt.dreamstime.com/foto-de-stock-tronco-de-%C3%A1rvore-ca%C3%ADdo-que-constr%C3%B3i-uma-ponte-sobre-uma-cachoeira-do-rio-da-floresta-image69402316>>. Acesso em: 20 set. 2018.

VERSAR. **Tubarão, em Santa Catarina, é considerada a cidade mais hospitaleira do Brasil**. Disponível em: <<https://www.revistaversar.com.br/tubarao-em-santa-catarina-e-considerada-a-cidade-mais-hospitaleira-do-brasil/>>. Acesso em: 28 de out. 2018.

VITÓRIO, Afonso. **Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia**. Recife, 2003. Apostila apresentada ao curso Perícias Judiciais e Patologia das Estruturas da IPEAPE.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Pontes e viadutos rodoviários: conceituação, conservação, segurança e reforço estrutural**. Recife, 2015. Apostila apresentada à disciplina de Reforço e Recuperação de Pontes e Viadutos da POLI/ UPE.

ANEXO A – Modelo de ficha de inspeção especial

ABNT NBR 9452:2016

Tabela D.1 – Modelo de ficha de inspeção especial

Inspeção especial(ano):		OAE Código:	
Jurisdição (DNIT, Concessão ou outro):			
Data da inspeção:	Início:	Término:	
PARTE I - Síntese do relatório de patologia			
1 - Localização			
Rede via e município:		Sentido:	
Obra:		Localização (km e endereço):	
2 - Descrição da obra			
Quantidade de vãos:		Comprimento total:	
Pilares:		Vigas:	
Largura total:		Juntas de dilatação:	
Tipologia transversal da superestrutura:		Tipologia longitudinal da superestrutura:	
Classe:			
Observações:			
3 - Ensaios realizados			
4 - Classificação da OAE (Ver Seção 5)			
Estrutural:		Funcional:	
Durabilidade:			
5 – Vistoria			
Data da vistoria:			
Recursos de aproximação empregados:			
6 - Descrição das anomalias			
Superestrutura			
Laje superior:			
Vigas longarinas:			
Vigas transversinas:			
Mesoestrutura			
Vigas travessas:			
Aparelho de apoio:			
Pilares:			
Infraestrutura			
Blocos:			
Fundações:			

Tabela D.1 (continuação)

Encontro
Estruturas de encontro:
Elementos complementares
Pavimento, sinalização e gabaritos:
Passeios e guarda-corpo:
Barreiras rígidas/defensas metálicas:
Juntas:
Drenagem:
PARTE II - Síntese do relatório de terapia
1 - Parecer técnico
Informar as conclusões da inspeção:
2 - Resumo da análise estrutural (caso necessário)
3 - Proposição de restauração e/ou reforço
A considerar: Informar as medidas necessárias para a restauração ou reforço.

APÊNDICE A – Questionário aplicado

TÍTULO DO TCC: LEVANTAMENTO DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS ENCONTRADOS NA PONTE NEREU RAMOS E SUGESTÃO DE POSSÍVEIS MEIOS DE RECUPERAÇÃO

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE TUBARÃO
ENGENHARIA CIVIL

Investigação

Situada no município de Tubarão - SC, a Ponte Nereu Ramos completou 80 anos de uso em 2019, sem indícios comprovados de quaisquer manutenções de cunho patológico, apenas recebendo pinturas e limpezas em sua pista de rolamento. Originalmente construída para uma cidade pequena, com baixo fluxo de veículos, a obra vem recebendo cargas cada vez maiores conforme a cidade se desenvolve. Em 1960, a Ponte Nereu Ramos recebeu uma "irmã", elaborada com tabuleiros lado lado, a Ponte Heriberto Hülse foi inaugurada devido à crescente movimentação de automóveis na região, visando distribuir melhor as cargas empregadas.

Devido a uma revitalização na Avenida Padre Geraldo Spettman, as pontes tornaram-se uma das principais rotas de acesso ao município, atualmente com aproximadamente 105 mil habitantes, concentrando um significativo acúmulo de veículos para o qual não foram dimensionadas, além de possuir semáforos ao final de suas pistas de rolamento, o que mantém os automóveis estagnados sobre as mesmas, amplificando as cargas acidentais em decorrência de frequentes frenagens e acelerações. Hoje, problemas patológicos podem ser encontrados visualmente pela estrutura, causando desconforto e insegurança a população.

Imagem 1 - Ponte Nereu Ramos na Década de 50



Imagem 2 - Pontes Nereu Ramos e Heriberto Hülse



Imagem 3 - Pontes Nereu Ramos e Heriberto Hülse em 2007



Imagem 4 - Semáforos localizados sobre as pontes



Questionário

Com base no exposto pelo texto e as imagens, responda com relação a Ponte Nereu Ramos:

Imagem 5 - Armadura exposta, com perda de bitola sob uma das longarinas de encontro



Imagem 6 - Corrosão encontrada sob longarina de encontro



Imagem 7 - Patologias localizadas nos pilares intermediários da ponte Nereu Ramos



1. Em meio a uma inspeção visual e fotográfica realizada no dia 16 de abril de 2019 sob a ponte Nereu Ramos, foram localizadas diversas armaduras expostas em estado de corrosão, algumas em nível já avançado com perda significativa de seção. Esses problemas patológicos podem ser encontrados tanto abaixo das longarinas de encontro como nos pilares da estrutura, os quais absorvem diretamente as forças de aceleração e frenagem geradas pelas cargas móveis, pois a estrutura é do tipo pórtico e não contém aparelhos de apoio, conforme pode ser observado nas imagens apresentadas. Diante dos fatos expostos responda qual das seguintes alternativas representa melhor o mecanismo de ocorrência desses problemas patológicos.

Marcar apenas uma oval.

Devido a carbonatação, a qual alcançou as armaduras pela ausência de espaçadores durante a execução da obra. A alta porosidade do concreto presente no topo dos pilares somada ao aumento de cargas móveis sobre a ponte pode ter agravado a situação e causado o deslocamento do concreto em áreas pontuais.

Ataque de cloretos, desencadeado em decorrência de processos de difusão e capilaridade, os quais atingem a armadura em conjunto com o oxigênio e a umidade, iniciando o processo de corrosão eletroquímica.

Alta porosidade do concreto, causado pelo transporte de fluídos como água e substâncias agressivas em meio a estrutura.

Outro: _____

2. Com base na resposta anterior, quais testes abaixo poderiam se fazer necessários para comprovar o mecanismo de ocorrência destacado.

Marcar apenas uma oval.

Emprego de ensaios de absorção de água por imersão e porosidade, os quais objetivam, respectivamente, a capacidade de absorção de água no concreto e a relação entre o volume de poros permeáveis e o volume total da amostra, através do cálculo de índice de vazios.

Aplicação do método de potenciometria, o qual determina o teor de cloretos no concreto em laboratório.

Verificação do cobrimento da estrutura de acordo com o previsto em norma, submetendo a mesma ao ensaio desenvolvido com indicador químico a base de fenolftaleína para obter a profundidade de carbonatação do concreto.

Outro: _____

3. Dentre os meios de recuperação citados, destaque o que melhor se encaixa na situação apresentada.

Marcar apenas uma oval.

Apicoamento e limpeza através de escovação manual e posterior recobrimento da peça utilizando-se de concreto ou argamassa.

Limpeza por meio de jatos de água alternados com areia visando o preparo da estrutura, com aplicação de resina epóxi nas armaduras e no concreto, para a reconstrução do elemento por encamisamento.

Polimento do concreto, seguido do preparo da estrutura para reconstrução da seção por encamisamento.

Outro: _____

Imagem 8 - Corrosão e eflorescência registradas sob uma das juntas de dilatação



Imagem 9 - Vista inferior da segunda junta de dilatação



4. Durante a mesma inspeção pode ser constatado que a obra não possui nenhum sistema de drenagem, portanto, toda água da chuva que cai sobre a ponte segue seu curso até as juntas de dilatação, onde é escoada para baixo da estrutura. Nas imagens é possível observar, na parte inferior, a água gotejando. Com base nessas informações e nas fotografias apresentadas, responda qual das alternativas melhor representa o mecanismo de ocorrência dos problemas patológicos averiguados, corrosão e eflorescência.

Marcar apenas uma oval.

Carbonatação do concreto, como resultado da dissolução de CO_2 , presente na atmosfera, sobre o cimento hidratado, formando assim o carbonato de cálcio. Ao atingir a armadura inicia-se o processo de corrosão devido ao baixo nível de Ph.

A água transporta consigo hidróxido de cálcio até a superfície que reage com o dióxido de carbono do ar, após a umidade evaporar surge a eflorescência, posteriormente atacando as armaduras.

O escoamento da chuva entre as juntas de dilatação se infiltra na peça e através do processo de lixiviação, por pressão hidrostática, a água desloca o hidróxido de cálcio presente no concreto até a parte inferior da estrutura, formando assim a eflorescência. A água infiltrada também entra em contato com as armaduras presentes nas transversinas levando ao quadro de corrosão.

Outro: _____

5. De acordo com o mecanismo de ocorrência escolhido, selecione qual dos testes abaixo melhor se enquadra para detectá-lo.

Marcar apenas uma oval.

Submeter a peça ao ensaio para determinação de carbonatação através da aplicação de um indicador químico à base de fenolftaleína.

Aplicação do ensaio de resistividade elétrica para definir o potencial e velocidade de corrosão. Determinar a capacidade de absorção de água, teor de umidade e índices de vazios do concreto.

Não há necessidade de ensaios, é possível determinar os problemas patológicos visualmente.

Outro: _____

6. **Analisando a situação exposta, quais meios poderiam ser utilizados para recuperar a peça e inibir esses problemas patológicos.**

Marcar apenas uma oval.

- Realizar uma simples limpeza, utilizando-se de jatos d'água sob pressão para retirada do carbonato de cálcio e posteriormente efetuar o recobrimento das armaduras com argamassa.
- Efetuar a limpeza através de jatos alternados de água e areia, aplicação de resina epóxi e restituição da peça com concreto impermeável. Em caso de perda de seção das armaduras, o ideal é que se faça o encamisamento do elemento. Para que o problema não persista será necessário a implantação de um sistema de drenagem nas juntas de dilatação da ponte.
- Desenvolver a limpeza por meio da aplicação de soluções ácidas e posteriormente restituir a peça com concreto impermeável. Se faz necessário a implantação de um sistema de drenagem para evitar que o problema volte a ocorrer.
- Outro: _____

Imagem 10 - Junta de dilatação com abertura excessiva



Imagem 11 - Registro de uma das juntas de dilatação obstruída



Imagem 12 - Junta de dilatação metálica encontrada sobre a ponte em estado ocluso



7. A estrutura da ponte Nereu Ramos conta com duas juntas de dilatação, do tipo aberta com cantoneiras metálicas, localizadas na parte inicial e final dos tabuleiros, ambas se encontram obstruídas e apresentam problemas que podem ser constatados visualmente, como por exemplo a abertura excessiva de uma e o estreitamento de outra, conforme exposto nas fotos. Diante desta situação, responda qual mecanismo de ocorrência melhor representa os problemas averiguados.

Marcar apenas uma oval.

- A situação apresentada ocorreu devido a movimentação natural da estrutura, comum em qualquer obra de engenharia civil. A obstrução das juntas se dá pela falta de cuidado da população para com a obra pública, não descartando seu lixo de maneira correta.
- Uma das juntas apresenta abertura excessiva por conta do arrancamento do concreto junto com as cantoneiras metálicas, causado pela movimentação dos veículos, enquanto a outra está em seu tamanho normal.
- O excesso de movimentação, causado pela aplicação de cargas de frenagem e aceleração providas dos automóveis que param no semáforo, fez com que uma das juntas se abrisse e a outra, que está mais próxima ao semáforo, fechasse. Esse tipo de junta possui vida útil reduzida por conta do impacto dos veículos, o que resultou no arrancamento das cantoneiras metálicas, somado a falta de manutenções e limpezas, ambas as juntas se encontram obstruídas.
- Outro: _____

8. **Baseando-se na alternativa selecionada para a pergunta número nove, escolha o melhor método de recuperação a ser empregado nestas circunstâncias.**

Marcar apenas uma oval.

- Efetuar a correção do concreto presente nos bordos da junta de dilatação e instalar uma nova cantoneira metálica.
- Modificar o tipo de junta atualmente construída, como por exemplo, proceder os métodos necessários para construir duas juntas seladas com materiais elásticos, o que corrigiria problemas relativos a falta de drenagem na estrutura e desgaste dos bordos, ocasionados devido ao fluxo de automóveis.
- Realizar uma limpeza nas juntas afim de desobstruí-las para posteriormente executar o macaqueamento da estrutura, tendo por objetivo restaurar os espaçamentos anteriormente existentes, por fim corrigir o concreto presente nos bordos das juntas.
- Outro: _____

9. **Complementos**

Powered by



APÊNDICE B – Mapeamento: cabeceira A da Ponte Nereu Ramos

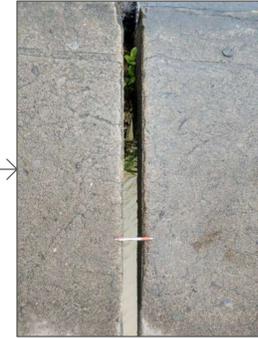
Problema Patológico: Corrosão de Armadura.

Localização: Longarinas de Encontro.

Mecanismo de ocorrência mais provável: A dissolução de CO_2 , presente na atmosfera, sobre o cimento hidratado ocasionou na formação do carbonato de cálcio. A falta de cobertura adequada do elemento estrutural permitiu que a carbonatação do concreto atingisse as armaduras, que quando expostas a esse tipo de ambiente perdem o filme oxidado que as protegem, dando início ao processo de formação de células eletroquímicas de corrosão.

Ensaio indicado: Verificação do cobrimento e ensaio para determinação da profundidade de carbonatação do concreto, aplicando um indicador químico à base de fenolftaleína.

Terapia recomendada: Limpeza por meio de jatos de água alternados com areia. Aplicação de resina epóxi para impermeabilização. Reconstrução da peça por encamisamento, pois a perda de seção das bitolas podem ter enfraquecido a estrutura.

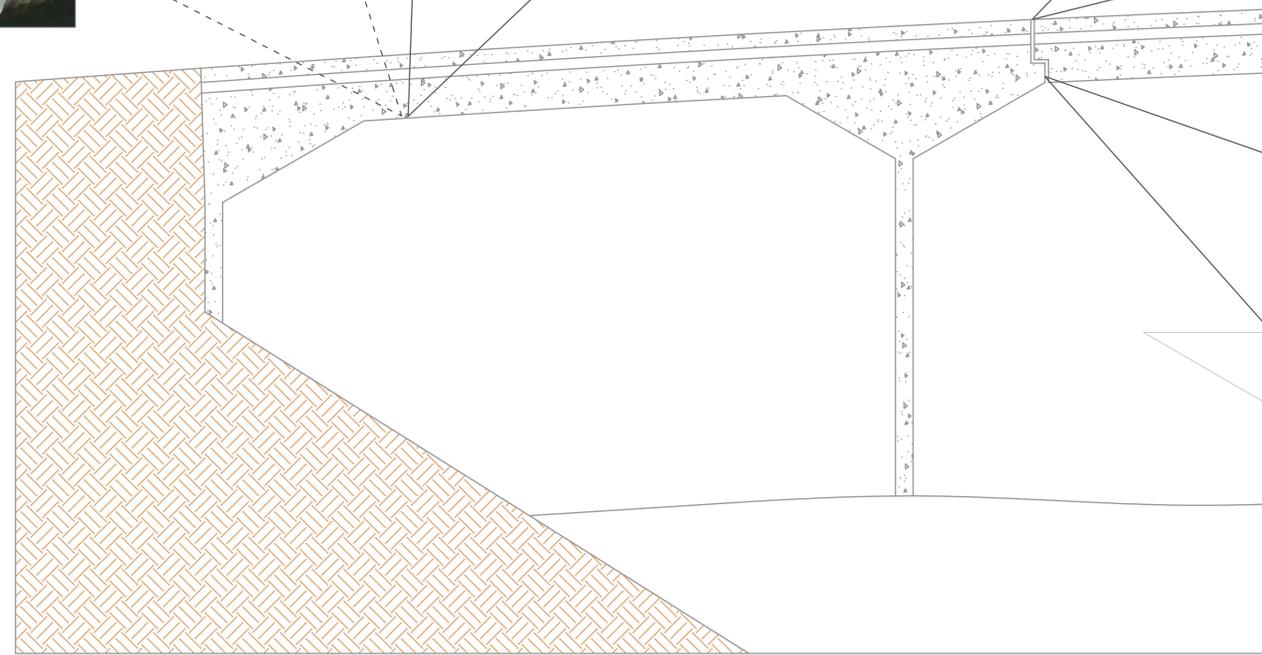


Problema Patológico: Deficiência na junta de dilatação.

Localização: Junta de dilatação.

Mecanismo de ocorrência mais provável: O excesso de movimentação, causado pela aplicação de cargas de frenagem e aceleração providas dos veículos que param sob a ponte por conta do semáforo, fez a junta de dilatação se expandir. Esse tipo de junta possui vida útil reduzida por conta do impacto dos veículos, o que resultou na danificação das cantoneiras metálicas, somado a falta de manutenções e limpezas, a junta encontra-se obstruída.

Terapia recomendada: Modificar o tipo de junta atualmente construída. Proceder os métodos necessários para construir duas juntas seladas com materiais elásticos, o que corrigiria problemas relativos a falta de drenagem na estrutura e desgaste dos bordos, ocasionados devido ao fluxo de automóveis.



Problema Patológico: Corrosão de Armadura e Eflorescência.

Localização: Sob a Junta de dilatação.

Mecanismo de ocorrência mais provável: Pelo processo de lixiviação por pressão hidrostática a água da chuva, que escorre pelas juntas de dilatação, se infiltra na estrutura e transporta consigo até a superfície o hidróxido de cálcio e outros minerais presentes no concreto, onde ficam cristalizados, formando as manchas de eflorescência. A água infiltrada também entra em contato com as armaduras levando-as ao estado de corrosão em diversos pontos.

Ensaio indicado: Determinação do índices de vazios, capacidade de absorção de água, teor de umidade, e ensaio de resistividade elétrica para afim de definir o potencial e velocidade de corrosão do aço.

Terapia recomendada: Limpeza através de jatos alternados de água e areia para retirada do carbonato de cálcio da superfície e também das impurezas da corrosão das armaduras. Aplicar resina epóxi afim de impermeabilizar o local e realizar a restituição da peça com o uso de concreto impermeável. No caso de perda de seção das armaduras, o ideal é que se faça o encamisamento do elemento. Para que o problema não persista será necessário a implantação de um sistema de drenagem nas juntas de dilatação da ponte.

CABECEIRA "A" DA PONTE NEREU RAMOS
Esc: 1:100

M1/M3 MAPEAMENTO DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS	
<u>Autores:</u> Gustavo Vieira da Silva Larissa Gassenferth	<u>Conteúdo:</u> Mapeamento das patologias, Mecanismos de ocorrência, ensaios indicados e terapias recomendadas.
<u>Obra:</u> Ponte Nereu Ramos	<u>Orientador(a):</u> Daiana Saviam da Silva

APÊNDICE C – Mapeamento: parte central da Ponte Nereu Ramos



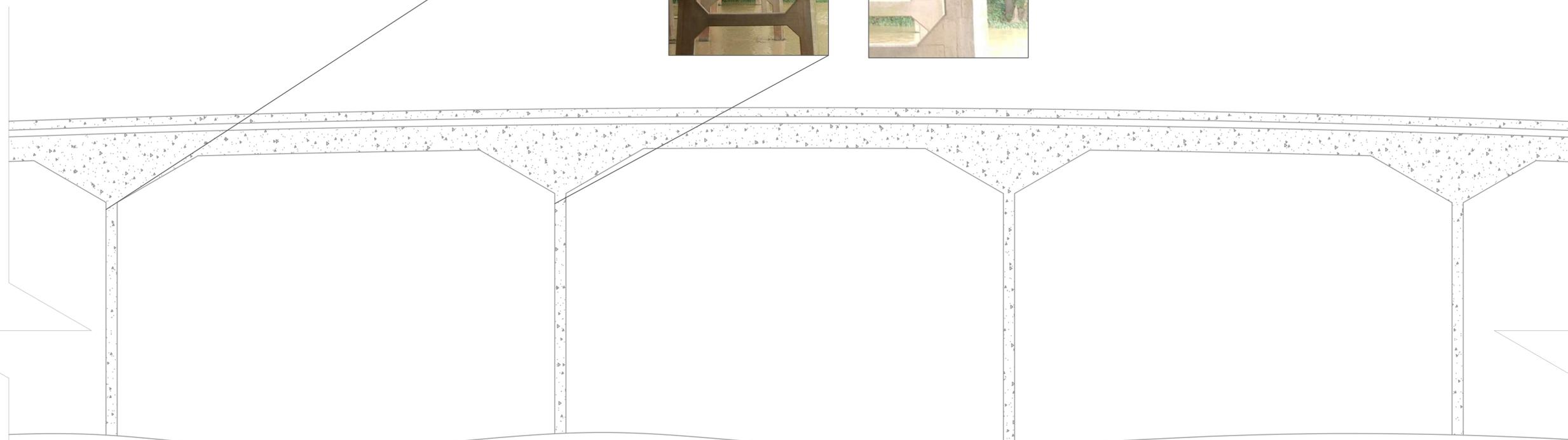
Problema Patológico: Corrosão de Armadura.

Localização: Pilares centrais.

Mecanismo de ocorrência mais provável: A dissolução de CO_2 , presente na atmosfera, sobre o cimento hidratado ocasionou na formação do carbonato de cálcio. A falta de cobrimento adequado do elemento estrutural permitiu que a carbonatação do concreto atingisse as armaduras, que quando expostas a esse tipo de ambiente perdem o filme óxido que as protegem, dando início ao processo de formação de células eletroquímicas de corrosão. A alta porosidade do concreto no topo dos pilares, somado ao aumento de cargas móveis agravou a situação e resultou no deslocamento do concreto.

Ensaio indicado: Verificação do cobrimento e ensaio para determinação da profundidade de carbonatação do concreto, aplicando um indicador químico à base de fenolftaleína.

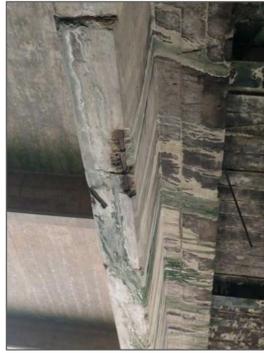
Terapia recomendada: Limpeza por meio de jatos de água alternados com areia. Aplicação de resina epóxi para impermeabilização. Reconstrução da peça por encamisamento, caso necessário, pois a perda de seção das bitolas podem ter enfraquecido a estrutura.



PARTE CENTRAL DA PONTE NEREU RAMOS
Esc: 1:100

M2/M3	MAPEAMENTO DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS	
Autores:	Gustavo Vieira da Silva Larissa Gassenferth	Conteúdo: Mapeamento das patologias, Mecanismos de ocorrência, ensaios indicados e terapias recomendadas.
Obra:	Ponte Nereu Ramos	Orientador(a):
Data:	Mai de 2019	Daiana Saviam da Silva

APÊNDICE D – Mapeamento: cabeceira B da Ponte Nereu Ramos



Problema Patológico: Deficiência na junta de dilatação.

Localização: Junta de dilatação.

Mecanismo de ocorrência mais provável: O excesso de movimentação, causado pela aplicação de cargas de frenagem e aceleração providas dos veículos que param sob a ponte por conta do semáforo, fez a junta de dilatação se retrair. Esse tipo de junta possui vida útil reduzida por conta do impacto dos veículos, o que resultou na danificação das cantoneiras metálicas, somado a falta de manutenções e limpezas, a junta encontra-se obstruída.

Terapia recomendada: Modificar o tipo de junta atualmente construída. Proceder os métodos necessários para construir duas juntas seladas com materiais elásticos, o que corrigiria problemas relativos a falta de drenagem na estrutura e desgaste dos bordos, ocasionados devido ao fluxo de automóveis.

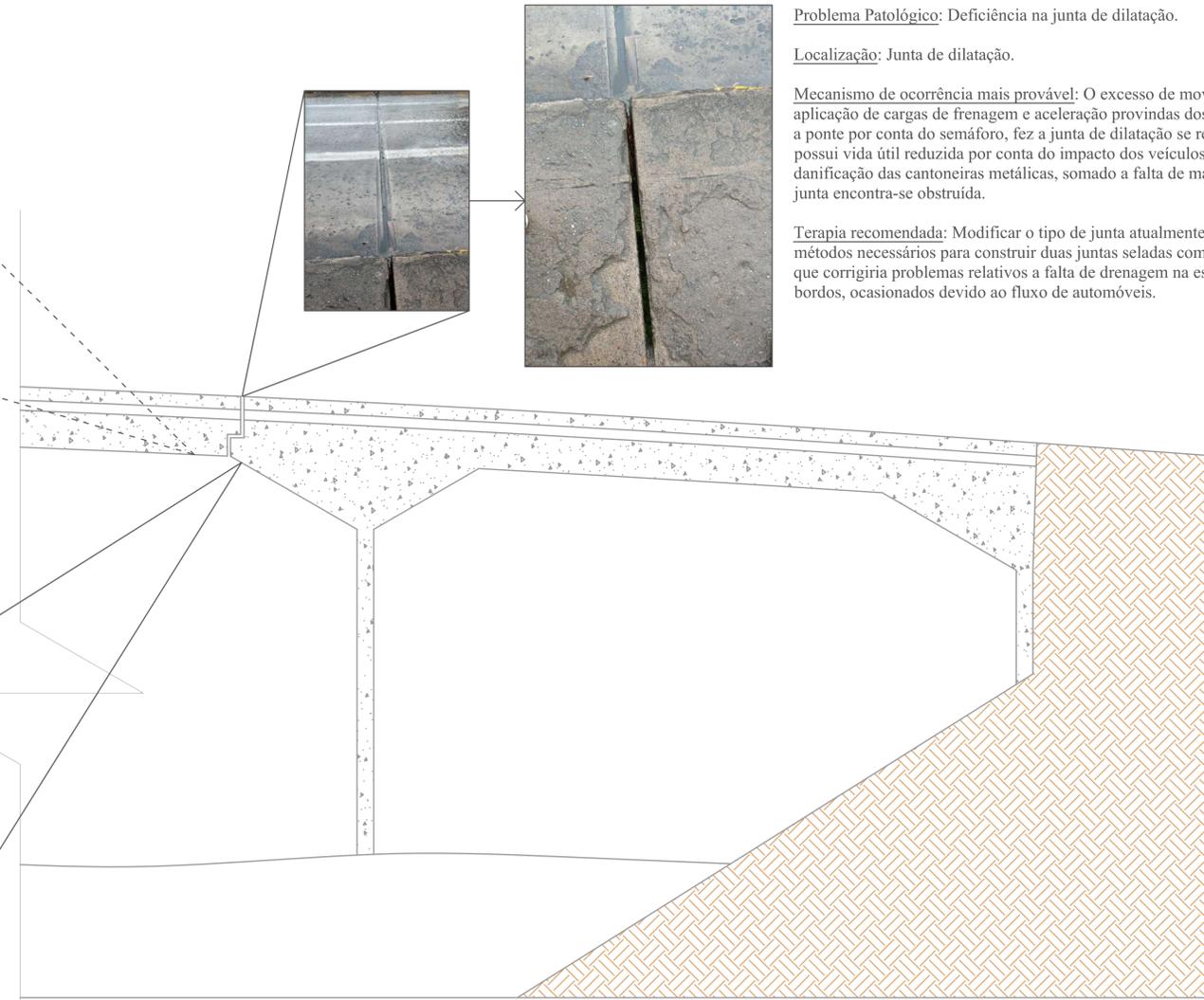
Problema Patológico: Corrosão de Armadura e Eflorescência.

Localização: Sob a Junta de dilatação.

Mecanismo de ocorrência mais provável: Pelo processo de lixiviação por pressão hidrostática a água da chuva, que escorre pelas juntas de dilatação, se infiltra na estrutura e transporta consigo até a superfície o hidróxido de cálcio e outros minerais presentes no concreto, onde ficam cristalizados, formando as manchas de Eflorescência. A água infiltrada também entra em contato com as armaduras levando-as ao estado de corrosão em diversos pontos.

Ensaio indicado : Determinação do índices de vazios, capacidade de absorção de água, teor de umidade, e ensaio de resistividade elétrica para afim de definir o potencial e velocidade de corrosão do aço.

Terapia recomendada: Limpeza através de jatos alternados de água e areia para retirada do carbonato de cálcio da superfície e também das impurezas da corrosão das armaduras. Aplicar resina epóxi afim de impermeabilizar o local e realizar a restituição da peça com o uso de concreto impermeável. No caso de perda de seção das armaduras, o ideal é que se faça o encamisamento do elemento. Para que o problema não persista será necessário a implantação de um sistema de drenagem nas juntas de dilatação da ponte.



CABECEIRA "B" DA PONTE NEREU RAMOS
Esc: 1:100

M3/M3	MAPEAMENTO DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS	
Autores:	Gustavo Vieira da Silva Larissa Gassenferth	Conteúdo: Mapeamento das patologias, Mecanismos de ocorrência, ensaios indicados e terapias recomendadas.
Obra:	Ponte Nereu Ramos	Orientador(a): Daiana Saviam da Silva