

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR - MG
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
GABRIELA OLIVEIRA REZENDE

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES DE CONCRETO
NAS PROXIMIDADES DO MUNICÍPIO DE ARCOS – MG

FORMIGA – MG
2018

GABRIELA OLIVEIRA REZENDE

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES DE CONCRETO
NAS PROXIMIDADES DO MUNICÍPIO DE ARCOS – MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.
Orientadora: Prof.^a Esp. Mariana Del Hoyo Sornas.

FORMIGA – MG

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UNIFOR-MG

R467 Rezende, Gabriela Oliveira.
Manifestações patológicas em pontes de concreto nas proximidades do
município de Arcos - MG / Gabriela Oliveira Rezende. – 2018.
60 f.

Orientadora: Mariana Del Hoyo Sornas.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro
Universitário de Formiga - UNIFOR, Formiga, 2018.

1. Vistorias. 2. Estruturas. 3. Correções. I. Título.

CDD 624.257

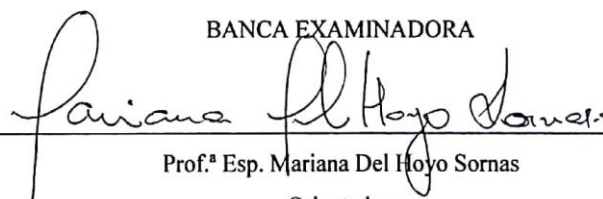
Catálogo elaborado na fonte pela bibliotecária
Regina Célia Reis Ribeiro – CRB 6-1362

Gabriela Oliveira Rezende

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PONTES DE CONCRETO
NAS PROXIMIDADES DO MUNICÍPIO DE ARCOS – MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-
MG, como Requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil.
Orientadora: Prof.^a Esp. Mariana Del Hoyo
Sornas.

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Esp. Mariana Del Hoyo Sornas

Orientadora



Prof.^a Dr.^a Kátia Daniela Ribeiro

UNIFOR-MG



Eng. Fábio Rezende de Castro

Engenheiro Civil

Formiga, 31 de outubro 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro a todas pessoas que contribuíram para que este sonho se tornasse realidade. A minha mãe que nunca me deixou em um só momento com muito esforço e dedicação. Ao meu pai por todo o incentivo, ajuda e paciência a qualquer momento em colaborar para que esta etapa fosse concretizada. A minha irmã Daniela pelo incentivo. Aos meus avós, tios, primo e namorado por estarem ao meu lado.

Agradeço aos professores do UNIFOR-MG, que com sua sabedoria compartilharam suas experiências, em especial minha orientadora Professora Mariana Del Hoyo Sornas, pela disposição em me ajudar em tudo que precisei para que o meu trabalho fosse concluído com êxito.

Aos meus amigos que fiz durante o curso que estiveram sempre ao meu lado tornando essa caminhada mais suave. E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

RESUMO

O presente trabalho trata das manifestações patológicas em pontes de concreto armado na região de Arcos-MG, tendo como objetivo analisá-las, reconhecendo suas causas e com embasamento teórico do assunto permitir a adoção de soluções ao quadro patológico encontrado. Primeiramente foi feito um estudo aprofundado sobre os tipos de pontes de concreto, com ampla revisão bibliográfica abrangendo seus históricos, os componentes constituintes, suas funções e os critérios de classificação e logo em seguida sobre as patologias ocorridas no concreto abordando os mecanismos que levam um elemento estrutural a deterioração, de modo a fornecer informações de como os problemas podem surgir e quais danos podem trazer futuramente. Foram listadas as principais patologias encontradas demonstrando suas características e elaborando o modo de restauração para a mesma. Por fim foi realizado um estudo em quatro pontes da região com ampla documentação fotográfica de cada patologia encontrada, apresentando como resultado onde se encontra os maiores erros que provam as patologias e assim sugestões quanto a preservação e correção de cada caso.

Palavras chave: Vistorias. Estruturas. Correções.

ABSTRACT

The present work deals with the pathological manifestations in reinforced concrete bridges in the region of Arcos-MG, with the objective of analyzing them, recognizing their causes and with a theoretical background of the subject, allowing the adoption of solutions to the pathological picture found. First, an in-depth study was carried out on the types of concrete bridges, with a wide bibliographic review covering their history, the constituent components, their functions and classification criteria, and then on the pathologies occurring in the concrete, addressing the mechanisms that carry an element deterioration, in order to provide information on how problems may arise and what damages they may bring in the future. The main pathologies found were listed, demonstrating their characteristics and elaborating the restoration method for the same. Finally, a study was carried out in four bridges of the region with a large photographic documentation of each pathology found, presenting as the result where the greatest errors that prove the pathologies are found, and thus suggestions regarding the preservation and correction of each case.

Keywords: Surveys. Structures. Corrections.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema ilustrativo de uma ponte	15
Figura 2 - Esquema ilustrativo de um viaduto.....	15
Figura 3 - Ponte Vecchio em Florença	16
Figura 4 - Elementos constituintes de pontes	17
Figura 5 - Tipos de traçado das vias	19
Figura 6 - Tipos de projeções do eixo.	20
Figura 7 - Ponte em viga	20
Figura 8 - Ponte em treliça	21
Figura 9 - Ponte em pórtico	21
Figura 10 - Ponte em arco.....	21
Figura 11 - Ponte pênsil.....	22
Figura 12 - Tipos de tabuleiros.....	22
Figura 13 - Dispositivo de defensas	26
Figura 14 - Fissuras	32
Figura 15 - Corrosão nas armaduras.....	33
Figura 16 - Lixiviação no tabuleiro de uma ponte.....	35
Figura 17 - Eflorescência.....	35
Figura 18 - Vista superior da ponte 1	39
Figura 19 - Vista superior da ponte 2	40
Figura 20 - Vista superior da ponte 3	41
Figura 21 - Vista lateral da ponte 3	41
Figura 22 - Vista superior das duas pontes (3 e 4)	42
Figura 23 - Vista superior da ponte 4	42
Figura 24 - Pista de rolamento.....	43
Figura 25 - Guarda-corpo destruído	44
Figura 26 - Brecha nos encontros	45
Figura 27 - Vista frontal do pilar	46
Figura 28 - Armaduras expostas.....	46
Figura 29 - Lixiviação parte inferior do tabuleiro	47
Figura 30 - Guarda-corpo danificado	47
Figura 31 - Lixiviação e armadura expostas.....	48

Figura 32 - Fundação	49
Figura 33 - Segregação e armadura exposta	50
Figura 34 - Vista superior da junta de dilatação	50
Figura 35 - Vista lateral da junta de dilatação	51
Figura 36 - Corrosão das armaduras	51
Figura 37 - Fissura no pavimento.	52
Figura 38 - Armadura exposta no tabuleiro	53
Figura 39 - Infiltração parte inferior do tabuleiro.....	53

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1 - Peso específico dos materiais	25
Tabela 2 - Dimensões de aberturas de fissuras, trincas, rachaduras, fenda e brechas	32
Quadro 1 - Procedimentos para preparo do substrato	36
Quadro 2 - Procedimentos para limpeza da superfície de concreto	37
Gráfico 1 - Tipos e incidências das patologias descobertas durante a pesquisa.....	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral.....	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
3	JUSTIFICATIVA	14
4	REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1	Pontes.....	15
4.1.1	Breve histórico das pontes	16
4.1.2	Elementos estruturais de pontes	17
4.2	Classificação das pontes	18
4.3	Métodos construtivos das pontes.....	23
4.3.1	Concreto moldado no local	23
4.3.2	Construção com elementos pré-moldados.....	23
4.3.3	Deslocamentos sucessivos.....	24
4.4	Ações atuantes nas pontes.....	24
4.4.1	Ações permanentes	24
4.4.2	Ações variáveis.....	25
4.4.3	Ações excepcionais.....	26
4.5	Patologia das estruturas.....	27
4.5.1	Patologia em pontes	27
4.5.2	Vida útil e durabilidade	27
4.6	Mecanismo de manifestação e formação das patologias	28
4.6.1	Fase de planejamento e projeto.....	29
4.6.2	Erros na execução.....	30
4.6.3	Utilização indevida e manutenção ausente.....	30
4.6.4	Causas naturais.....	31
4.7	Tipos de patologias mais comuns	31
4.7.1	Fissuras	31
4.7.2	Corrosão das armaduras	33
4.7.3	Corrosão do concreto	34
4.8	Método de tratamento para manifestação patológica.....	36

5	MATERIAL E MÉTODOS	38
5.1	Ponte 1	38
5.2	Ponte 2	39
5.3	Ponte 3	40
5.4	Ponte 4	41
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
6.1	Patologias referentes as pontes	43
6.2	Recuperação das manifestações patológicas	54
7	CONCLUSÃO	58
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da civilização, o ramo da construção civil é uma das práticas do homem. Prática que passa de geração para geração e por aperfeiçoamentos contínuos. Esses aperfeiçoamentos geram conhecimentos e informações que, por sua vez, moldam os procedimentos com os quais são erguidas as estruturas, a arquitetura e a escolha dos materiais. O concreto armado é hoje a opção mais usual para a realização de obras de pequeno, médio e grande porte, não só no Brasil, mas no mundo, dados sua durabilidade, propriedades de resistência, facilidade de controle de qualidade, dentro outros fatores.

A admirável arte de construir pontes tem deslumbrado várias gerações por sua arquitetura e sua grandeza estrutural, contendo importância para o desenvolvimento e relacionamento humano, trazendo com os anos o avanço no conhecimento de suas técnicas construtivas e o modo de manutenção destas consideráveis estruturas. Em geral, é dado mais ênfase às pontes de grandes portes, desconsiderando as estruturas de médio e pequeno porte. Entretanto, são elas as principais ligações entre inúmeras pessoas em rodovias e também no interior das cidades, possibilitando o acesso de recursos e fluxo da produção.

Lamentavelmente todas as pontes analisadas apresentam patologias que podem comprometer sua vida útil e durabilidade por diversos fatores, como a má utilização dos materiais, imperícias, erros na concepção do projeto, falhas na execução do projeto, perda de capacidade resistente com o passar do tempo, perda da capacidade resistente devido a reações químicas entre seus componentes internos e fatores externos, entre outros, oferecendo assim riscos à sociedade e ocasionando prejuízos financeiros pelo abandono.

A presente pesquisa buscou demonstrar o estado de conservação de quatro pontes de concreto da região de Arcos - MG, apresentando um memorial fotográfico com todas as patologias encontradas, possibilitando a elaboração de um gráfico identificando as principais patologias ocorridas como armaduras expostas, guarda-corpos destruídos, entre outros, e logo, em seguida, o modo de reparo para as mesmas, possibilitando notar que, apesar de terem vasto fluxo de veículos, não possuem manutenção pelo órgão responsável e a falta desta manutenção faz com que pequenas patologias, que teriam um baixo custo para seu reparo, evoluam ocasionando desempenho insatisfatório das pontes e alto custo para recuperação.

2 OBJETIVOS

Esta seção tem por finalidade descrever os objetivos deste trabalho, sendo eles objetivo geral e objetivo específico conforme especificados a seguir.

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar um levantamento das principais patologias estruturais existentes em quatro pontes de concreto localizadas nas proximidades do município de Arcos - MG.

2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, destacam-se:

- Apresentar um estudo bibliográfico sobre pontes de concreto e patologias encontradas na estrutura;
- Realizar estudo específico em quatro pontes de concreto e apontar as patologias existentes;
- Apontar os mecanismos que causam as manifestações e formações das patologias;
- Orientar soluções para as patologias encontradas no levantamento.

3 JUSTIFICATIVA

O estudo das patologias em pontes de concreto é de extrema complexibilidade, pois envolve diversos fatores que causam essas manifestações, devido às interações entre os elementos que a constituem com seus aditivos e agentes externos até mesmo a própria sobrecarga imprevista na estrutura.

No Brasil ainda não existe um conhecimento técnico científico sistemático e aprofundado sobre a avaliação das condições de estabilidade estrutural das pontes existentes, em especial as mais antigas (VITÓRIO; BARROS, 2013).

Quando os projetos se referem a pontes de rodovias federais, é obrigatório o preenchimento de uma ficha de dados com a descrição dos danos estruturais por meio das notas técnicas pela norma DNIT 010/2004-PRO, do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

Diversas pesquisas já foram realizadas para efetuar a avaliação de cada obra isoladamente, detalhando os principais danos existentes. As relevantes incidências encontradas nas obras analisadas são infiltrações e eflorescência, deslocamento de concreto no tabuleiro, e juntas de dilatação deficientes, assim podendo ser constatado que a maioria das pontes estão potencialmente problemáticas, seguidas de obras sofríveis, e obras em situação crítica, podendo sofrer colapso estrutural (NASCIMENTO; MIRANDA, 2017).

Portanto, a realização deste presente trabalho vem expor a necessidade de confirmar a histórica falta de uma cultura de manutenção em pontes, em especial preventiva, pelas instituições responsáveis pelas obras públicas, nos âmbitos federal, estadual e municipal. A ausência de política e estratégias voltadas para a conservação de pontes de concreto tem acarretado graves prejuízos materiais e financeiros à sociedade e ao próprio setor produtivo.

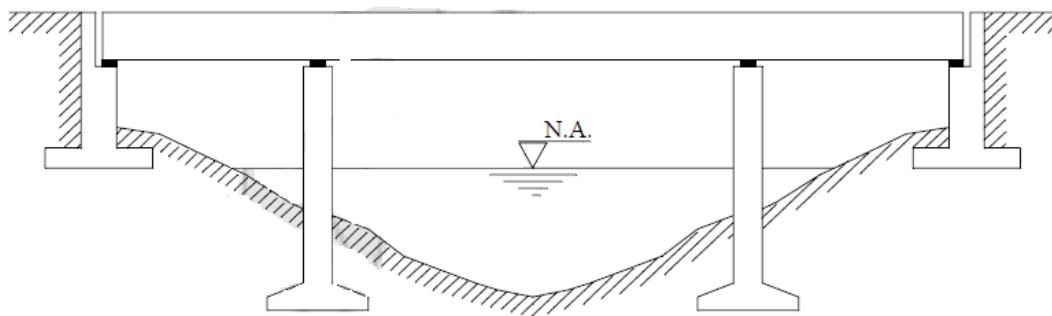
4 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta etapa, foram abordados os principais temas relevantes para a elaboração do trabalho, através do embasamento teórico obtido por meio de pesquisa em literaturas existentes, trabalhos de conclusão de curso, artigos acadêmicos, dissertações de mestrados, e teses de doutorados.

4.1 Pontes

Denomina-se ponte (FIG. 1) toda obra destinada à transposição de obstáculos que impeçam a continuidade de uma via, constituído por um curso d'água ou outra superfície líquida (DEBS; TAKEYA, 2007).

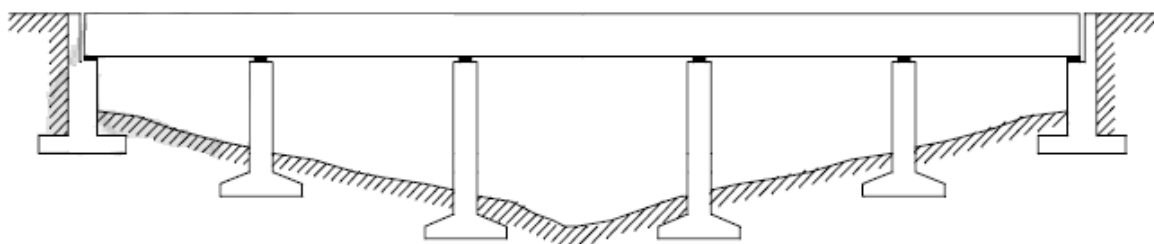
Figura 1- Esquema ilustrativo de uma ponte



Fonte: TAKEYA, 2007.

Já o viaduto (FIG. 2) seria destinado à transposição de vales ou vias.

Figura 2- Esquema ilustrativo de um viaduto



Fonte: TAKEYA, 2007.

Independente da classificação, o tratamento estrutural para ambos é idêntico em quase todo o conjunto, com diferenças apenas na infraestrutura (SARTORTI, 2008).

4.1.1 Breve histórico das pontes

Segundo Pinho e Bellei (2007), desde a antiguidade quando os povos primitivos começaram a se unir em povoados tiveram a necessidade de transpor rios, vales e riachos, foi a partir de então que surgiram as pontes e mais tarde os viadutos, construídos de pedras e posteriormente de madeira.

As primeiras pontes eram formadas por estruturas simples, feitas de cordas, pedras e madeira, na maioria das vezes feitas por construtores aqueles que mais tarde se tornariam engenheiros procurando novas técnicas para a melhoria da estrutura por possuírem grandes limitações para vencer grandes vãos e profundidade (MATTOS, 2001).

Pontes de pedras começaram a ser construídas pelos os romanos e chineses antes de Cristo, os chineses conseguiam vencer vãos de até mais de 18 metros com vigas de granito e os romanos a arte da forma em arcos semicirculares alcançavam até 30 metros de vão, que vieram a desabar por problemas em suas fundações ou demolidas por questões bélicas, já na Idade Média as pontes começaram a ganhar outras dimensões com vãos de até 50 metros, ponte Vecchio em Florença (FIG. 3), é um exemplo delas (DEBS; TAKEYA, 2007).

Figura 3- Ponte Vecchio em Florença



Fonte: VIVATOSCANA, 2014.

No ano de 1840 começou o período de transição entre pontes de madeira e de ferro fundido pois com o surgimento das ferrovias tornaram-se necessárias a construção de pontes

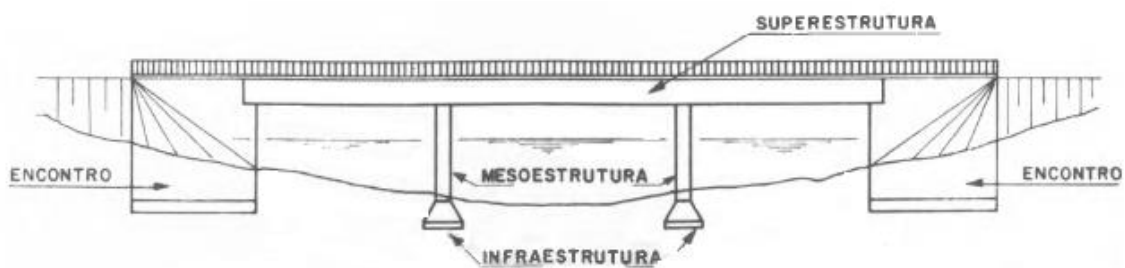
para suportar cargas pesadas, a primeira ponte totalmente feita de ferro fundido foi construída sobre o rio Severn em 1779 na Inglaterra com um vão de 31 metros, 15 metros de largura e comprimento total de 59 metros, anos mais tarde no Brasil foi produzida a ponte sobre o rio Paraíba possuindo 5 vãos de 30 metros em treliça arqueada com largura de 6 metros, podendo ser considerada a ponte mais antiga do país (PINHO; BELLEI, 2007).

A partir do século 20 começaram a surgir as primeiras pontes em concreto armado e protendido, eram feitos primeiramente os arcos triarticulados de concreto simples, e o concreto armado era utilizado apenas nas lajes de tabuleiros, foi a partir 1912 que começaram adotar pontes de viga e pórtico em concreto armado possuindo vãos de até 30 metros, o concreto protendido manifestou-se em 1938 mas teve seu desenvolvimento a pós a Segunda Guerra Mundial em 1948 conquistando as construções de pontes com fabricação de vigas com vãos de até 230 metros (DEBS; TAKEYA, 2007).

4.1.2 Elementos estruturais de pontes

Pfeil (1979) descreve que as pontes, em sua maioria, podem ser divididas em três partes principais: a infraestrutura, a superestrutura e a mesoestrutura (FIG. 4).

Figura 4- Elementos constituintes de pontes



Fonte: PFEIL, 1979.

De acordo com Vitório (2002), a infraestrutura ou chamada também de fundação tem como função receber as cargas da estrutura e difundi-las no solo podendo ser através de sapatas, estacas ou tubulões.

A superestrutura pode ser definida como os elementos que compõe a parte estrutural da ponte, podendo ser feita de aço, madeira, concreto armado ou protendido tendo como partes principais o tabuleiro, parte que recebe diretamente as cargas aplicadas pelos veículos

que trafegam e o vigamento que possibilita a distribuição da estrutura para vencer os vãos. (LENCIONE, 2005).

Ainda de acordo com Lencione (2005), o tabuleiro é a parte da estrutura que serve de apoio imediato ao trânsito viário sendo utilizado a pista de rolamento, passeios, entre outros, possuindo na sua parte estrutural diversos elementos como: a laje do tabuleiro, vigamento do tabuleiro, barreira de proteção para veículos, pista de rolamento de veículos, passeios ou calçadas para pedestres, guarda corpo, refúgios para separação de pistas, juntas de dilatação, abas laterais das cortinas externas, laje ou placa de transição, dispositivos de drenagem e por fim caminhos de acesso para inspeção da obra.

A mesoestrutura segundo Pfeil (1979) “é constituída pelos pilares, é o elemento que recebe os esforços da superestrutura e os transmite à infraestrutura, em conjunto com os esforços recebidos diretamente de outras forças solicitantes da ponte, tais como pressões do vento e da água em movimento”.

Sartorti (2008) destaca que a mesoestrutura além de ser composta pelos pilares que se encontram em espaços intermediários não possuindo a atividade de sustentar o solo, ela possui ainda os encontros que são estruturas localizadas na extremidade das pontes que tem como função arrimar o solo e sustentar a ponte.

4.2 Classificação das pontes

A classificação das pontes pode seguir diversos critérios, segundo Sartorti (2008) os engenheiros as classificam pelo tipo estrutural, modo de funcionamento, pela maneira que os carregamentos são transferidos para os pilares e deles para a fundação, mas para os tecnólogos essas classificações são feitas pelos materiais que iram ser empregados na construção da ponte.

As pontes podem ser feitas de madeira geralmente utilizadas como estrutura provisória, de pedra, concreto armado ou protendido, aço e mistas, quanto ao tipo estrutural podem ser divididas em lajes, arcos, treliçadas, pênseis ou estaiadas (MATTOS, 2001).

Segundo Marchetti (2008), as pontes podem ser classificadas da seguinte forma:

- Segundo a extensão do vão (total).

Quando se tem um vão de até 2 metros são chamadas de bueiros, com vão de 2 metros a 10 metros chamadas de pontilhões, e com vão maior do que 10 metros consideradas pontes.

- Segundo a durabilidade

Pontes permanentes são aquelas construídas com a finalidade de serem definitivas, sua durabilidade deverá atender até o momento em que a estrada tenha algum tipo de alteração, as provisórias são as construídas geralmente para o desvio de tráfego, se tornado assim uma obra de duração limitada até o momento da construção de uma ponte definitiva e entrando no mesmo caráter das pontes provisórias, as pontes desmontáveis tem o mesmo tempo limitado porém podem ser desmontadas e reaproveitadas novamente.

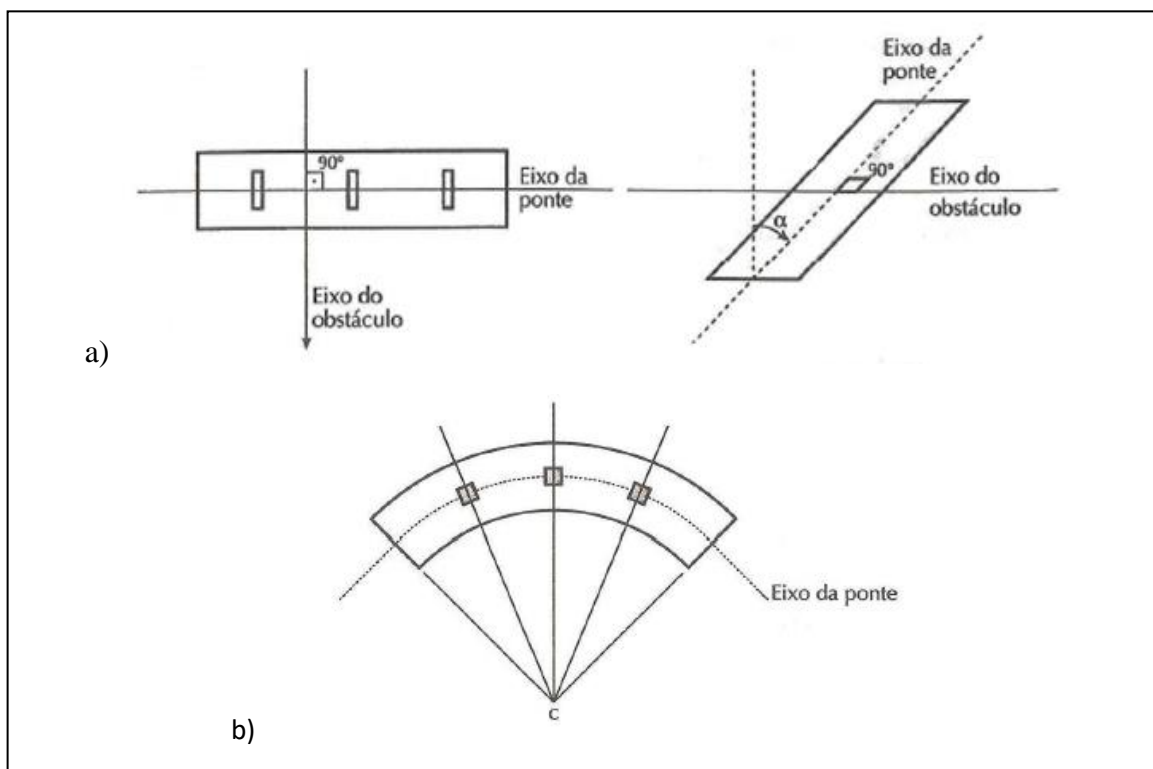
- Segundo a natureza de tráfego

A classificação quanto a natureza de tráfego abrange pontes rodoviárias, passarelas, aqueduto, ferroviárias, canal, aeroviárias e mistas, está última são ditas mistas por comportarem dois tipos de tráfegos, como pontes rodoferroviárias.

- Segundo o desenvolvimento planimétrico

A projeção do eixo das pontes é feita em função do traçado da via e das condições do local de obra, podendo ser classificadas conforme a (FIG. 5).

Figura 5 - Tipos de traçado das vias



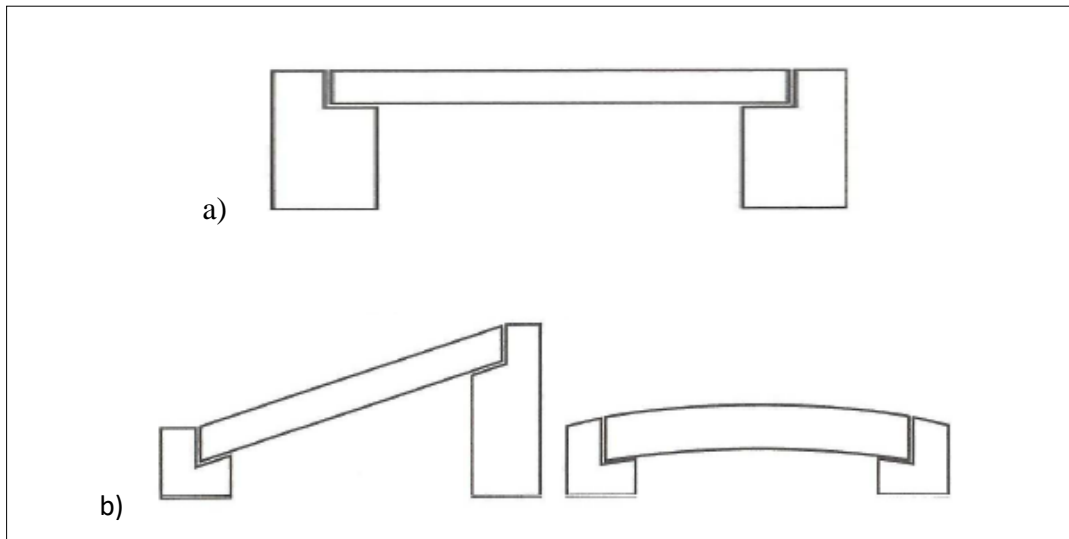
Legenda: a) Pontes retas
b) Pontes curvas

Fonte: MARCHETTI, 2008.

- Segundo o desenvolvimento altimétrico.

Considerando a projeção do eixo da ponte em plano vertical, as pontes podem ser divididas em horizontais, também denominadas pontes em rampa, retilíneas ou curvilíneas, de acordo com a (FIG. 6).

Figura 6 - Tipos de projeções do eixo.



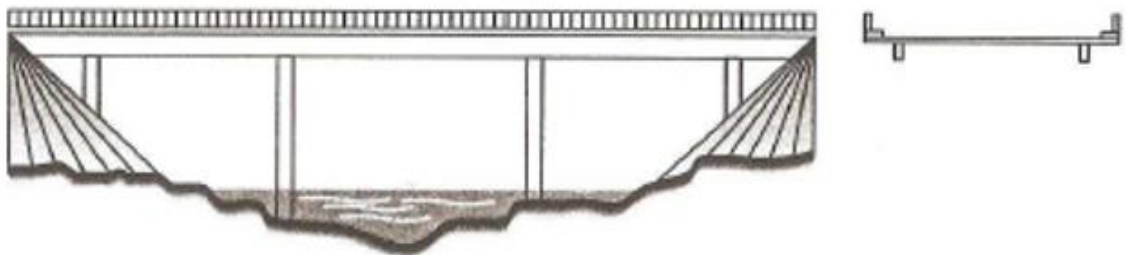
Legenda: a) Pontes horizontais
b) Pontes retilínea e curvilínea

Fonte: MARCHETTI, 2008.

Conforme Sartorti (2008), as superestruturas podem ser construídas pelos seguintes sistemas estruturais:

- Ponte em viga (FIG. 7), elas podem ser estruturas isostáticas ou hiperestáticas, de seção constante ou variável.

Figura 7- Ponte em viga



Fonte: MARCHETTI, 2008.

- Pontes em treliça (FIG. 8), são frequentemente utilizadas em aço.

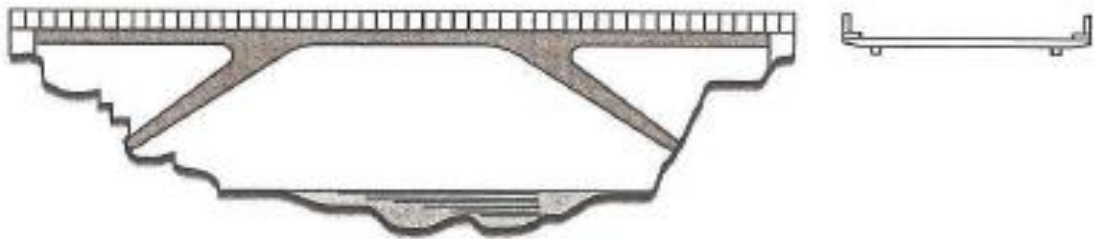
Figura 8 - Ponte em treliça



Fonte: MARCHETTI, 2008.

- Ponte em pórticos (FIG. 9), as vigas são dimensionadas para serem contínuas com os pilares, evitando assim um longo espaçamento aos vãos da viga reta.

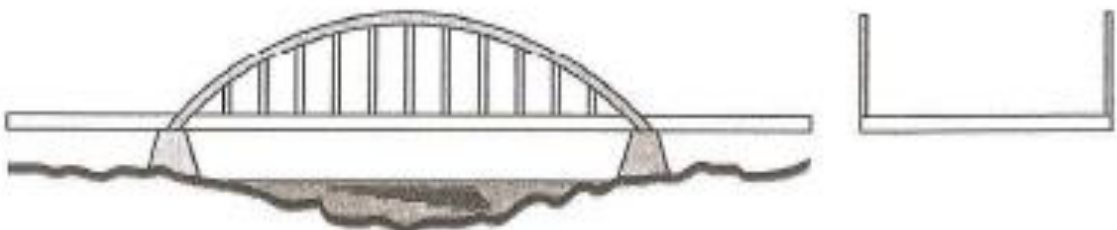
Figura 9 - Ponte em pórtico



Fonte: MARCHETTI, 2008.

- Ponte em arco (FIG.10), neste tipo de estrutura os esforços principais que ela atua são os de compressão, agindo juntamente ou não com os momentos fletores.

Figura 10 - Ponte em arco



Fonte: MARCHETTI, 2008.

- Ponte pênsil ou estaiada (FIG. 11), são ideais para estruturas de grande e médio porte, suspensas por cabos ou cordas. Solicitados esforços em maioria por tração, consegue superar vão de até 1000 metros.

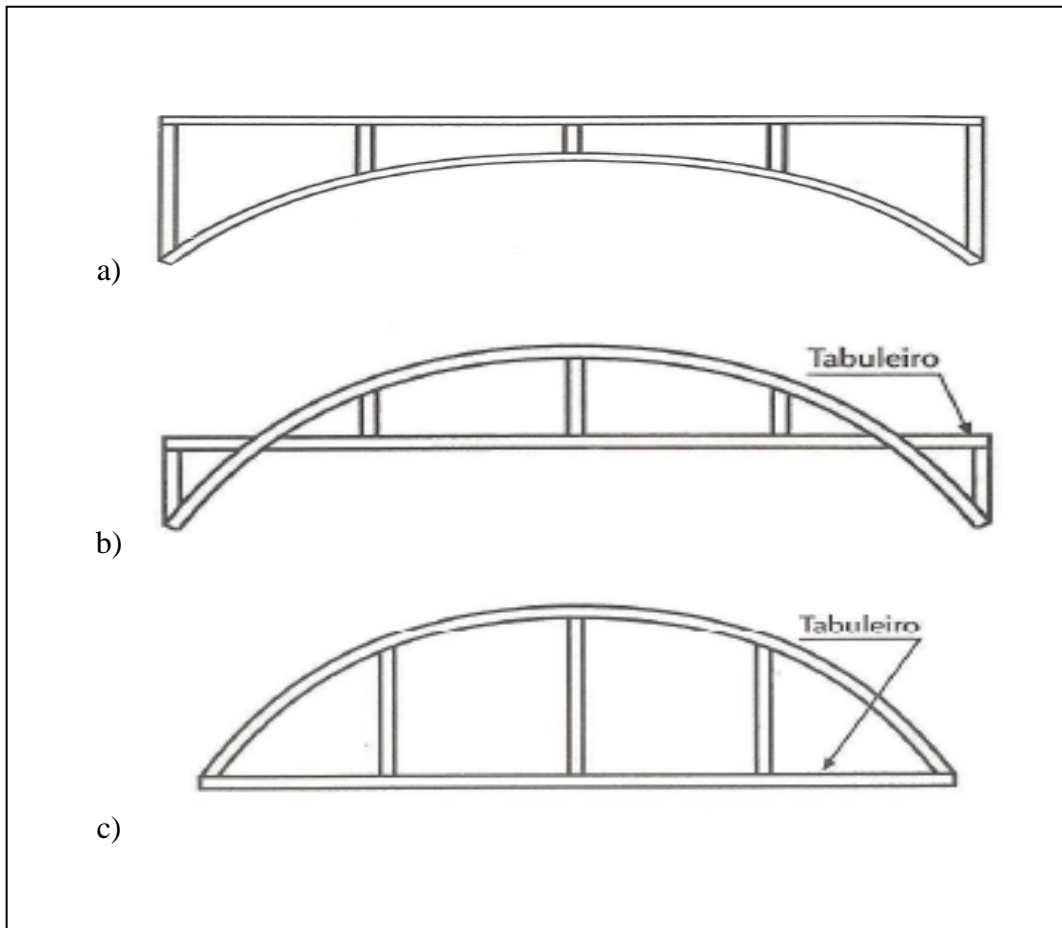
Figura 11 - Ponte pênsil.



Fonte: MARCHETTI, 2008.

Segundo Marchetti (2008), as pontes podem ser classificadas pela posição do seu tabuleiro, sendo ele superior, intermediário ou inferior (FIG 12), que seguem respectivamente.

Figura 12 - Tipos de tabuleiros



Legenda: a) Tabuleiro superior
b) Tabuleiro intermediário
c) Tabuleiro inferior

Fonte: MARCHETTI, 2008.

4.3 Métodos construtivos das pontes

Sartorti (2008) destaca que a construção e a produção das pontes solicitam cuidados e estudos, deve ter como foco o método construtivo designado, que é um fator importante na escolha estrutural da ponte, assim existem vários métodos construtivos para a superestrutura, ressaltando como principais temos o concreto moldado no local, elementos pré-moldados e pré-fabricados, e deslocamento sucessivos, apresentados a seguir:

4.3.1 Concreto moldado no local

É o processo mais antigo para construção das pontes, seguem o mesmo sistema de uma construção tradicional sendo usado formas sobre apoios podendo serem feitos fixos ou móveis, e concretadas de acordo com a técnica usual, nos escoramentos deslizantes é utilizado treliças móveis em estrutura metálica que é movido conforme a concretagem vai sendo executada (MATTOS, 2001).

Ainda de acordo com Mattos (2001) não é recomendado este tipo de processo quando a estrutura possui uma altura acima de 15 metros, com um comprimento superior a 400 metros, em locais onde os rios possuem grande profundidade e sem regimes definidos, e em obras que possui um cronograma de execução restritos pois estas obras necessitam de maiores cuidados no projeto para seu escoramento, devendo ser compatível com a obra e seu plano de concretagem.

4.3.2 Construção com elementos pré-moldados

O sistema de pré-moldados pode ser feito no próprio canteiro de obras da ponte com instalação adequada ou fabricados em indústrias, ainda que não seja um mercado muito utilizado, existem empresas no Brasil que fornecem elementos pré-moldados para a construção de pontes em lajes com vãos não muito extensos, compatíveis com a viabilidade de transporte mas este tipo de produto possui uma dificuldade na sua execução, pois é preciso a utilização de equipamentos para elevação e transporte das peças até no local definido, os quais dependem do peso desses elementos (DEBS; TAKEYA, 2007).

4.3.3 Deslocamentos sucessivos

Deslocamentos sucessivos é um sistema com princípio simples, a ponte é construída por segmentos, cada segmento apoiando em segmentos já existentes, tendo como uma grande vantagem a eliminação do uso de escoramento intermediários eliminando os cimbramentos e treliças tornando-se indicado quando a ponte possui altura elevada, quando o rio contém correnteza violenta e súbita, ou ainda quando é preciso obedecer a gabaritos de navegação durante a construção (MARCHETTI, 2008).

4.4 Ações atuantes nas pontes

Em projetos de pontes rodoviárias, a segurança e as ações consideráveis devem ser seguidas conforme as exigências da NBR 8681 (ABNT:2004), em que essas ações são dispostas permanentes, variáveis e excepcionais. De acordo com a NBR 7187 (ABNT:2003), as ações operantes nas pontes são exibidas como explicado a seguir:

4.4.1 Ações permanentes

Segundo a NBR 7187 (ABNT:2003), ações permanentes podem ser consideradas como constantes ao longo da vida útil da estrutura, podendo ser classificadas também as ações que crescem com o tempo, chegando assim a um valor limite constante. Elas podem ser causadas por diversos fatores, podemos citar:

- a) As cargas procedentes do peso próprio da estrutura;
- b) As cargas derivadas do peso da pavimentação, dos guardas - corpos, dos guardas - rodas, do revestimento, de barreira e dos dispositivos de sinalização;
- c) Os empuxos de terra;
- d) As forças de protensão;
- e) E por fim as cargas originadas pela fluência e retração do concreto, originadas pelas variações de temperaturas e pelo deslocamento dos apoios;

De acordo com Marchetti (2008), as cargas permanentes podem ser divididas entre distribuídas e concentradas. Para as cargas distribuídas usa-se o valor relativo ao comprimento

unitário do elemento. A TAB. 1 demonstra os pesos específicos (γ) dos materiais mais utilizados nas estruturas.

Tabela 1- Peso específico dos materiais

Material	γ (tf/m ³)	γ (KN/m ³)
Concreto armado	2.5	25
Concreto protendido	2.5	25
Concreto simples	2.4	24
Aço	7.85	78,5
Madeira	A madeira tem seus parâmetros variáveis conforme sua classe e umidade, segundo a NBR 7190:1997	

Fonte: Adaptado Marchetti, 2008.

Para cálculo do peso próprio dos elementos estruturais, é utilizada a equação 1 para cargas permanentes distribuídas e a equação 2 para cargas permanentes concentradas para o dimensionamento (SARTORTI, 2008):

$$q = \gamma \cdot A \text{ (KN/m)} \quad (1)$$

Onde:

γ é o peso específico dos materiais

A é a área da seção transversal

$$Q = \gamma \cdot V \text{ (KN)} \quad (2)$$

Onde:

γ é o peso específico dos materiais

V é o volume da peça

4.4.2 Ações variáveis

São ações de natureza transitória que englobam as seguintes especificações, entre outras de acordo com a NBR 7187 (ABNT:2003):

- a) As cargas móveis;
- b) As cargas de construção;
- c) As cargas de vento;

- d) O empuxo de terra;
- e) Pressão da água em movimento;
- f) As variações de temperatura.

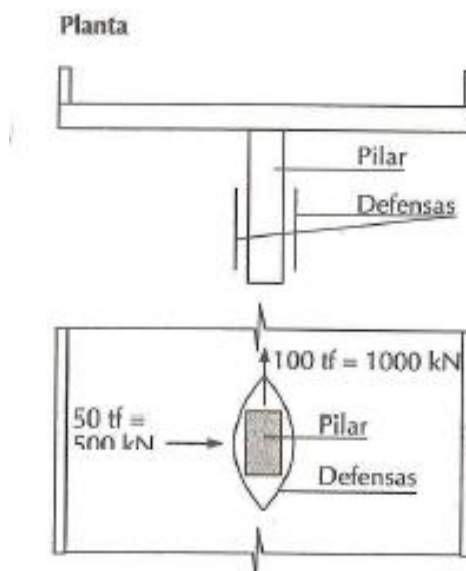
4.4.3 Ações excepcionais

São as ações que acontecem de forma anormais, podendo ser consideradas como explosões, choques de navios, fenômenos naturais pouco frequentes como os ventos, enchentes e abalos sísmicos NBR 7187 (ABNT:2003).

Conforme Sartorti (2008), as estruturas que tem maior probabilidade de serem atingidas por este tipo de ação devem ter sua segurança verificada quanto aos choques assim causados, mas caso a estrutura já tenha sido dimensionada para superar tais ações, dispensa essa averiguação.

Os pilares de ponte e viadutos conforme suas localizações podem ficar expostos com facilidade as ações excepcionais, e por isso a NBR 7187 (ABNT: 2003) estabelece, no caso de possibilidade a essa exposição ser dimensionadas medidas de proteção, Marchetti (2008) apresenta um destes dispositivos de defensas (FIG.13).

Figura 13- Dispositivo de defensas



Fonte: MARCHETTI, 2008.

4.5 Patologia das estruturas

Patologia das estruturas é um novo assunto estudado pela Engenharia das Construções abordando as origens, formas de manifestações, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas, conhecimento que vem crescendo nos últimos 20 anos (MÜLLER, 2004).

De acordo com Sartorti (2008), com o desenvolvimento acelerado da construção civil em alguns países e épocas, trouxe a necessidade de inovações que acarretou de forma subentendida uma aceitação de maiores riscos dentro dos limites das regulamentações e normas, sendo assim o desenvolvimento tecnológico aconteceu naturalmente e com ele o acréscimo de conhecimento sobre estruturas e materiais, em particular através dos erros cometidos, que trazem consigo a deterioração precoce da estrutura ou acidentes.

Ainda de acordo com Sartorti (2008), as patologias encontradas em pontes divergem entre a intensidade e a causa que podem acarretar um elevado custo para a reforma, e com relação a estética da ponte isso pode acarretar uma redução na sua capacidade de resistência, devido ao seu arranjo estrutural podendo chegar ao colapso parcial ou total da estrutura.

Assim a Engenharia Civil no ramo das Patologias Estruturais tem efetuado diversos estudos com relação aos mecanismos causadores das patologias como a origem, manifestação e os métodos corretivos, assunto que será abordado com relação a pontes de concreto nesta etapa.

4.5.1 Patologia em pontes

As patologias podem ocorrer por diversos motivos desde a exposição a condições ambientais totalmente adversas, utilizadas para condições de uso a qual não foi projetada e também pela carência de manutenção ao longo de sua vida útil proporcionando danos a sua durabilidade (VITÓRIO, 2013).

4.5.2 Vida útil e durabilidade

Como conceito de vida útil tem-se como a previsão de danificação da estrutura considerando os materiais utilizados, as condições de exposição e os modelos de deterioração (ANDRADE, 1997).

Para que uma obra tenha durabilidade e uma vida útil elevada para sua utilização e gastos empregados deve obedecer diretamente aos materiais empregados, ao projeto e sua manutenção existindo assim três tipos de vidas úteis importantes: vida útil técnica, econômica e funcional descritas abaixo (LANER, 2001):

- Vida útil técnica: considerada desde o início da construção da obra até que chegue no estado de deterioração inaceitável;
- Vida útil econômica: quando se torna mais viável a alteração da estrutura, do que mantê-la em serviço;
- Vida útil funcional: a estrutura torna-se antiga do ponto de vista de desempenho funcional, devido as mudanças de suas condições;

Bertolini (2010) conceitua durabilidade estando associada diretamente a definição de vida útil, pois uma estrutura só pode ser considerada durável quando ela supera as expectativas de vida útil estipulada em projeto, assim para assegurar na fase de projeto as condições de durabilidade, é indispensável tais condições:

- Definir a vida útil de projeto, que pode ser estabelecida pelo proprietário ou o gestor da estrutura, tendo como referência a vida útil pela tipologia da obra (por exemplo, é considerado que um edifício tenha uma vida útil de 50 anos, e uma ponte de cerca de 100 anos);
- Definir as condições ambientais e as ações do ambiente no local que a estrutura será implantada;
- Através dos efeitos do ambiente prever as degradações sobre os materiais utilizados na estrutura;
- Escolher materiais que mesmo contendo degradação não comprometam a funcionalidade da própria estrutura;
- Formular normas para os materiais, para garantir que na execução sejam utilizados de acordo com as escolhas da fase de projeto;

4.6 Mecanismo de manifestação e formação das patologias

Manifestação patológica é a expressão resultante de um mecanismo de degradação encontrado na estrutura.

De acordo com Sartorti (2008), “na análise de uma estrutura danificada, é de indispensável importância que se conheçam as causas patológicas, pois além de um correto tratamento, é necessário que se garanta a minimização da patologia pós-recuperação”.

Segundo Vitório (2002) as patologias estão associadas diretamente com o uso e com as etapas de produção da estrutura, dispostas como principais a fase de planejamento, o projeto, os materiais empregados, a fase de execução e por fim o uso da estrutura.

A seguir estão dispostas as principais causas das manifestações patológicas nas estruturas de ponte e a avaliação dos danos estruturais mais causados.

4.6.1 Fase de planejamento e projeto

Sousa e Ripper (1998) destacam que as patologias ocorridas na fase de planejamento e projeto podem ser originadas a partir de diversas falhas, isto é, na fase do estudo preliminar (lançamento da estrutura), na execução do anteprojeto, ou durante a elaboração do projeto de execução, considerado na engenharia como o projeto final de uma obra, suas dificuldades técnicas e custos para a reforma dessas patologias estão associadas em qual momento foi ocorrido o dano, pois quanto mais cedo ocorrer a patologia, como na fase do estudo preliminar maior será a sua complexibilidade.

Ainda de acordo com Sousa e Ripper (1998), as falhas relacionadas com o projeto final da engenharia podem trazer sérias patologias a estrutura, sendo até maiores do que aquelas geradas na fase de estudo preliminar ou anteprojeto onde estas trazem maior prejuízo econômico para a construção, dentre os diversos problemas estão os elementos de projetos utilizados de maneira inadequada, incompatibilidade entre o projeto estrutural e arquitetônico, especificação inadequada dos materiais, detalhamento escasso, falta de padronização de representações e por fim erros no dimensionamento da estrutura.

Para Andrade (1997) outro fator que deve ser levado em consideração é a evolução dos cálculos estruturais, pois anteriormente não eram desenvolvidos o que possibilitava apenas as estruturas grande massa e uma inércia considerável as tornando mais resistentes, hoje com a disponibilização de *software* para cálculos estruturais as mesmas se tornaram esbeltas assim podendo ser levadas a sofrer ações de agentes agressivos. Ainda de acordo com o autor o detalhamento insuficiente, a falta de entendimento sobre os tipos de elementos que compõem a estrutura e o local em que ela será implantada podem também serem associadas a essa etapa.

4.6.2 Erros na execução

Sousa e Ripper (1998) destaca que nessa fase para um bom andamento da obra, deve-se ter uma programação de atividades, alocação de mão-de-obra, definição do layout do canteiro de obras e previsão da compra dos materiais, mas a ocorrência de problemas patológicos nesta fase é devida basicamente ao processo de produção que causa problemas socioeconômicos, entre os profissionais menos qualificados como os pedreiros e serventes, e até mesmo as pessoas que possuem alguma qualificação profissional. A falta de fiscalização eficiente e um fraco comando pelo líder de equipe podem também trazer falhas graves quanto a algumas atividades como, escoramento, fôrmas, posicionamento e qualidades das armaduras, qualidade com concreto, entre outras (GONÇALVES, 2015).

Outros problemas estão relacionados na execução do concreto (mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura) e também ao posicionamento da armadura o que influenciam na durabilidade da obra, mas se forem realizados devidos cuidados nesta etapa, terá diminuição das fissuras ocorridas pela dessecação superficial e movimentação térmica, que são as portas de entradas para as patologias internas do concreto (LANER, 2001).

4.6.3 Utilização indevida e manutenção ausente

Andrade (1997) destaca que atualmente encontrasse uma grande carência em atividades de manutenção em estruturas ao longo de sua utilização, em específico as estruturas formadas de concreto, pois elas são compostas por diversos materiais como (juntas de concretagem, elementos de drenagem, conexões, instalações, entre outros), assim com uma manutenção tanto na estrutura quanto nos materiais são de suma importância para se ter um desempenho satisfatório da estrutura por completa, pois é basicamente no processo de utilização que os danos provocados pelas patologias começam a ser mais evidentes, ocasionando assim um grande acréscimo nos custos da edificação.

Compete ao usuário utilizar a estrutura de maneira eficiente para manter suas características originais ao longo de sua vida útil, pois a eficiência da construção está relacionada as atividades atribuídas a ela como por exemplo garantir que as cargas previstas em projeto não sejam ultrapassadas, já que se sabe que o desempenho diminui ao longo dos anos com a sua utilização (GONÇALVES, 2015).

Segundo Laner (2001), antes mesmo de entregar uma obra deve-se fazer uma inspeção, e posteriormente montar um manual para as possíveis reparações ao longo da vida útil da mesma, já em estruturas como pontes essas inspeções necessitam ser periódicas, que relacionem detalhadamente cada manifestação para que seja corrigida.

4.6.4 Causas naturais

As causas naturais são aquelas provocadas pelo meio ambiente e são consideradas as principais causadoras de patologia em estruturas, pois um ambiente agressivo pode e acelerar o desenvolvimento do processo patológico ou até mesmo provocar na estrutura porosidade e rede de capilares, que são gases líquidos que possuem componentes químicos agressivos, um grande problema visto em cidades litorâneas e centros urbanos que possuem um aumento da industrialização que causa agressividade atmosférica e conseqüentemente traz como resultado para as estruturas corrosão precoce e a carbonatação acelerada (SARTORTI, 2008).

De acordo com Lencione (2005), quando se conceitua a vida de serviço de uma estrutura de concreto as ações ambientais são tão importantes quanto as propriedades mecânicas, como a temperatura, umidade, vento, poluição, agressividade da água, são os fatores que influenciam na deterioração do concreto.

4.7 Tipos de patologias mais comuns

As patologias são o resultado efetivo da ação dos diversos agentes causadores relacionados anteriormente, e podem causar os seguintes danos nas estruturas das pontes de concreto.

4.7.1 Fissuras

Conforme Gonçalves (2008), “fissuras são aberturas que afetam a superfície do elemento estrutural tornando-se um caminho rápido para a entrada de agentes agressivos à estrutura”, termo usado para denominar a ruptura do concreto por ações mecânicas ou físico-químicas.

As fissuras é a patologia que mais acontece ou que chama mais atenção das pessoas, podendo ocorrer a partir do projeto arquitetônico depois de anos, dias ou horas por diversas causas e de análise difícil (GONÇALVES, 2015).

De acordo com Sartorti (2008), elas podem manifestar dimensões e denominações diferentes, classificadas conforme a (TAB. 2).

Tabela 2 - Dimensões de aberturas de fissuras, trincas, rachaduras, fendas e brechas.

Tipos de aberturas	Tamanho
Fissura capilar	Menos de 0,2 mm
Fissura	De 0,2 mm a 0,5 mm
Trinca	De 0,5 mm a 1,5 mm
Rachadura	De 1,5 mm a 5 mm
Fenda	De 5 mm a 10 mm
Brecha	Mais de 10 mm

Fonte: SARTORTI, 2008.

A FIG.14 demonstra fissuras nos encontros por excesso de sobrecarga.

Figura 14 - Fissuras



Fonte: SARTORTI, 2008.

Conforme Marcelli (2007), as fissuras em estruturas de concreto armado sempre necessitam de cuidados nas inspeções, para as análises das causas e medidas para as soluções possíveis, algumas podem ser consideradas desprezíveis depois de um diagnóstico rígido por especialista, informando as causas que as ocasionaram, mas deveram receber cuidados especiais para resolver o problema corretamente que podem ser originadas por diversos fatores:

- Devido à retração hidráulica;
- Devido à variação do teor de umidade;
- Devido à variação de temperatura;
- Devido à flexão;
- Devido ao cisalhamento;
- Devido à torção;
- Devido à compressão;
- Devido à punção em laje;
- Devido à corrosão das armaduras;

4.7.2 Corrosão das armaduras

Corrosão pode ser definido como danificação de um material, causado por ações químicas ou eletroquímicas do meio ambiente relacionada ou não com esforços mecânicos, representando modificações indesejáveis para o material como o desgaste, variações químicas ou alterações estruturais (GENTIL,1996).

Segundo Vitório (2013), a porosidade do concreto, as trincas existentes e a falta de recobrimento fazem com que as armações sejam atingidas pelos agentes agressivos provocando oxidação, assim essa parte oxidada expande 8 vezes o seu volume e com isso o concreto de cobertura desprende, deixando as armaduras totalmente expostas ao ambiente, provocando a destruição completa da armação (FIG.15).

Figura 15 - Corrosão nas armaduras



Fonte: GONÇALVES, 2015.

O processo de corrosão do aço no concreto é eletroquímico, podendo ser observado que na maioria das ocorrências estão presentes a água ou um ambiente úmido, e para que inicie o procedimento é necessário que aconteça a despassivação do concreto, manifestação que ocorre pelo elevado pH do concreto que está entre 12 e 13 (LANER, 2001).

Sartorti (2008) esclarece que a corrosão da armadura acontece devido à grande concentração de hidróxidos que provocam alcalinidade no concreto, que podem possuir $\text{pH} \geq 12,5$, assim quando o aço entra em contato com o concreto alcalino e cria uma camada superficial na barra que é chamada de passivante, essa camada é formada por óxido transparente e de espessura fina, tendo como função dar ao aço uma proteção química, mas como ela não possui resistência os agentes agressivos a prejudica e começam a agredir o aço, desenvolvendo o processo corrosivo.

Conforme Laner (2001), quando a passividade do concreto desaparecer em pontos localizados ou por completo na estrutura pode ocorrer a carbonatação, devido à alta alcalinidade obtida pelo hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 , essa redução acontece principalmente pela ação do CO_2 presente no meio ambiente juntamente com outros ácidos.

4.7.3 Corrosão do concreto

Conforme Vitório (2013), o concreto mesmo contendo bastante resistência pode sofrer danos quando sujeito a agentes agressivos, como os ácidos, os sulfatos, o cloro e os nitratos considerados os principais causadores da destruição do concreto. Ainda de acordo com o autor, inclusive a água totalmente pura como é caso da água das chuvas em pontes pode agredir o concreto, por meio da infiltração, acúmulo por falta de pingadeiras, pela carência de juntas e drenagem do tabuleiro.

A degradação do concreto pode ser cometida por forma física, isto é, por abrasão, processo que proporciona a perda gradativa da argamassa superficial e de agregados em uma delimitada área, sendo observado em pisos, estruturas sob a ação de fluídos, tabuleiros de pontes entre outras (GEMELLI; BELING, 2007).

Entretanto o concreto pode sofrer degradação por interações químicas, quando o agente agressivo do ambiente externo entra em contato com constituintes do concreto, resultando em reações internas, tendo como principais a solubilidade do concreto, águas sulfatadas, e reação álcali-agregado (GEMELLI; BELING, 2007).

De acordo com Laner (2001), o processo de deterioração por reação química ocasiona a desagregação e lascamento do concreto proporcionando características de hidrólise, lixiviação e eflorescência.

Conforme Sartorti (2008) “a lixiviação, é definida como sendo a dissolução e o arrasto do hidróxido de cálcio, Ca(OH)_2 , e outros compostos e hidratados, com a formação de estalactites e estalagmites na superfície do concreto atacado, o hidróxido de cálcio possui a função conjuntamente com outras substâncias de promover a coesão do concreto”, como pode ser demonstrado pela (FIG.16).

Figura 16 - Lixiviação no tabuleiro de uma ponte



Fonte: LENCIONE, 2005.

Segundo Gonçalves (2015), a eflorescência é a geração de depósitos salinos na superfície do concreto por meio de infiltração ou variação da temperatura do ambiente, os sais constituintes podem trazer degradação do concreto e variação de cores entre os sais e os substratos sobre o qual depositam (FIG. 17).

Figura 17 - Eflorescência



Fonte: GEMELLI; BELING, 2007.

4.8 Método de tratamento para manifestação patológica

Para a recuperação de uma estrutura, é preciso uma detalhada análise das causas das patologias existentes a fim de disseminar o adequado reparo e serviço que deverá ser executado. Após determinar esses dois pontos, deve-se fazer a seleção da técnica adequada juntamente com a seleção dos materiais, equipamentos utilizados e mão de obra necessária, procedimentos que são citados neste tópico para a reparação das principais patologias encontradas em estruturas de concreto.

Para a retirada das trincas e fissuras, deve-se ter total reconhecimento das suas causas e se elas se enquadram em fissuras inativas que são aquelas que não crescem e se movem ou ativas fissuras que estão sujeitas a sofrer movimentações (PEREIRA et al., 2010).

Ainda de acordo com os autores essas correções podem ser feitas da seguinte maneira: Para as fissuras inativas basta comprimir uma argamassa de areia e cimento ou ampliar a fissura para uma forma de “V” e preencher com a argamassa; as fissuras ativas devem ser solucionadas com selantes, sendo eles os mais conhecidos a base de betume, os poliuretanos e os modificados.

Segundo Gonçalves (2015), para o tratamento das armaduras tem que ser feita uma limpeza total da ferrugem oxidada, retirando as impurezas e toda a oxidação por meio de uma escova ou um jato de areia delimitando assim a área prejudicada e cortar superficialmente essa região, após isso aplicar adesivos a base de mineral para criar uma aderência entre a armadura e o concreto para receber a camada de argamassa de cimento para a restauração.

Para a recuperação do concreto existem várias maneiras, dependendo das condições do local, da natureza e do nível do serviço que será executado. De acordo com a QUADRO 1, é possível mostrar os principais procedimentos para o preparo do substrato, procedimento que deve ser inicialmente feito para a reparação (MARCELLI, 2007).

Quadro 1 - Procedimentos para preparo do substrato

Item	Procedimentos	Preparo do substrato	
		Concreto c/ superfície	
		Seca	Úmida
01	Escarificação manual	Adequado	Adequado
02	Disco de desbaste	Aceitável	Adequado
03	Escarificação mecânica	Adequado	Adequado

Continua

Cont. Quadro 1 – Procedimentos para preparo do substrato

04	Demolição	Adequado	Adequado
05	Lixamento manual	Inadequado	Aceitável
06	Lixamento elétrico	Adequado	Aceitável
07	Escovamento manual	Adequado	Aceitável
08	Pistola de agulha	Inadequado	Inadequado
09	Jato de areia seca/úmida	Adequado	Adequado
10	Disco de corte	Aceitável	Adequado
11	Queima controlada	Adequado	Inadequado
12	Remoção de óleo/graxa	Inadequado	Adequado
13	Máquina de desbaste	Aceitável	Adequado

Fonte: MARCELLI, 2007.

A limpeza da superfície do concreto é o próximo método que deve ser executado após a preparação do substrato para receber o reforço e reparo adequado, o QUADRO 2 demonstra tais procedimentos.

Quadro 2 - Procedimentos para limpeza da superfície de concreto

Item	Procedimentos	Limpeza	
		Concreto c/ superfície	
		Seca	Úmida
01	Jato de água fria	Inadequado	Adequado
02	Jato de água quente	Inadequado	Adequado
03	Vapor	Inadequado	Adequado
04	Soluções ácidas	Inadequado	Aceitável
05	Soluções alcalinas	Inadequado	Adequado
06	Remoção de óleo/graxas	Inadequado	Inadequado
07	Jato de ar comprimido	Adequado	Aceitável
08	Solventes voláteis (acetona)	Adequado	Adequado
09	Saturação de água	Inadequado	Inadequado
10	Aspiração a vácuo	Adequado	Inadequado

Fonte: MARCELLI, 2007.

Logo após a realização dos procedimentos citados, o processo de recuperação do concreto pode ser feito pelo polimento que é quando a estrutura apresenta uma superfície áspera, pela lavagem com soluções ácidas e alcalinas, saturação para aumentar a aderência do material que será recuperado, e corte concreto que irá remover profundamente o concreto degradado (GONÇALVES, 2015)

5 MATERIAL E MÉTODOS

Para início do desenvolvimento do estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica referente ao tema do trabalho, através de produção acadêmica existente e consultas em livros.

A correta análise de uma patologia revela não apenas a causa do problema, mas também os responsáveis que a ocasionaram. O diagnóstico deve ser baseado em um estudo aprofundado da estrutura e possuir um conhecimento adequado sobre os procedimentos de produção e manifestação das patologias.

Para a realização do presente estudo foram realizadas vistorias com averiguações visuais em quatro pontes de responsabilidade Federal localizadas na rodovia entre as cidades de Arcos e Iguatama – MG no dia 15 de agosto de 2018, utilizando como dispositivo fotográfico um aparelho móvel. Foi abordado como referência o método qualitativo, onde foi avaliada a qualidade das pontes, observando sua infraestrutura como um todo, destacando assim as patologias existentes e os mecanismos que as ocasionaram.

Para início do desenvolvimento do estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica referente ao tema do trabalho, através de produção acadêmica existente e consultas em livros.

5.1 Ponte 1

Dados gerais:

Localização: Ponte sobre o Rio Candonga, BR 354, km 469.

Sistema estrutural (superestrutura): Ponte em vigas.

Geometria: Reta Ortogonal.

Largura da pista de rolamento: 6 metros.

Comprimento: 36 metros.

Material constituinte: concreto armado.

Classe da ponte: suposição TB 30 ou 45.

Posição geográfica: Longitude UTM - 438419.00 m E.

Latitude UTM - 7759123.00 m S.

Construída sobre o rio Candonga, esta ponte tem como objetivo principal a ligação da BR-354, onde se encontram localizadas diversas empresas que fazem parte do sistema industrial da cidade de Arcos. A ponte serve de passagem constante de automóveis, ônibus e

caminhões e moradores da zona rural das proximidades. A estrutura é dividida em três vãos. O tabuleiro possui um comprimento de 36 metros e é suportado por quatro pilares que se encontram no centro do rio. Sua pista de rolamento contém 6 metros de largura sendo suportado por vigas. A FIG.18 apresenta a vista superior da ponte para maior conhecimento.

Figura 18- Vista superior da ponte 1



Fonte: O autor (2018).

5.2 Ponte 2

Dados gerais:

Localização: Ponte sobre o Rio São Miguel, BR 354, km 461.

Sistema estrutural (superestrutura): Ponte em vigas.

Geometria: Reta ortogonal.

Largura da pista de rolamento: 8 metros.

Comprimento: 25 metros

Material constituinte: Concreto armado.

Classe da ponte: Suposição TB 30 ou 45.

Posição geográfica: Longitude UTM - 431068.00 m E.

Latitude UTM - 7762137.00 m S.

Situada na BR-354 ao lado de Calciolândia, distrito da cidade de Arcos – MG, a ponte está sobre o rio São Miguel que abastece fazendas produtoras de leite e indústrias do local. Executada em concreto armado seu comprimento é de 25 metros, possuindo assim apenas

dois vãos e sendo sustentada pois dois pilares e vigas. A FIG.19 faz a apresentação da vista superior da ponte.

Figura 19 - Vista superior da ponte 2



Fonte: O autor (2018).

5.3 Ponte 3

Dados gerais:

Localização: Ponte sobre rio São Francisco saindo da rua 70 na cidade de Iguatama – MG para a BR 354.

Sistema estrutural (superestrutura): Ponte em vigas.

Geometria: Reta ortogonal.

Largura da pista de rolamento: 4 metros.

Comprimento: 110 metros.

Material constituinte: Concreto armado.

Classe da ponte: Suposição TB 30 ou 45.

Posição geográfica: Longitude UTM - 425166.00 m E.

Latitude UTM - 7769289.00 m S.

Ponte construída sobre o Rio São Francisco em 1957, com o objetivo de substituir a ponte de aroeira inaugurada em 16 de agosto de 1877. Possuía grande importância naquela época pois era a única passagem que existia para os moradores da cidade em transpor o rio que dispunha de uma grande vazão. Na FIG.20 é possível observar a parte superior da ponte.

Figura 20 - Vista superior da ponte 3



Fonte: O autor (2018).

Sua estrutura feita em concreto armado possui tabuleiro com comprimento de 110 metros, sendo suportado por dez pilares que se distribuem em seis vãos e uma pista de rolamento de apenas 4 metros de largura, bastante estreita e sem passeios em suas extremidades, dificultando a passagem de pedestres. A FIG. 21 mostra a vista lateral da ponte onde pode-se observar seus pilares e seu tipo de fundação.

Figura 21 - Vista lateral da ponte 3



Fonte: O autor (2018).

5.4 Ponte 4

Dados gerais:

Localização: Ponte sobre o Rio São Francisco, BR 354, km 451.

Sistema estrutural (superestrutura): Ponte em vigas.

Geometria: Reta ortogonal.

Largura da pista de rolamento: 8,50 metros.

Comprimento: 120 metros.

Material constituinte: Concreto armado.

Classe da ponte: Suposição TB 30 ou 45.

Posição geográfica: Longitude UTM - 425141.00 m E.

Latitude UTM - 7769276.00 m S.

A ponte sobre o Rio São Francisco, no km 451 em Iguatama – MG, foi construída ao lado da ponte já existente citada no item 5.3. Ela foi fabricada com o intuito de fazer a ligação da BR, retirando o fluxo de veículos pela cidade, e principalmente pela ponte antiga não possuir estrutura adequada. Entre elas existe uma carranca, símbolo das barcas que circulavam pelo rio antigamente como demonstra a FIG.22.

Figura 22 - Vista superior das duas pontes (3 e 4)



Fonte: O autor (2018).

A estrutura é dividida em seis vãos e o seu tabuleiro possui um comprimento de 120 metros suportado por dez pilares que se encontram dispostos pelo rio. Sua pista de rolamento contém 8,50 metros de largura sendo suportado por vigas como mostra a FIG.23.

Figura 23 - Vista superior da ponte 4



Fonte: O autor (2018).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

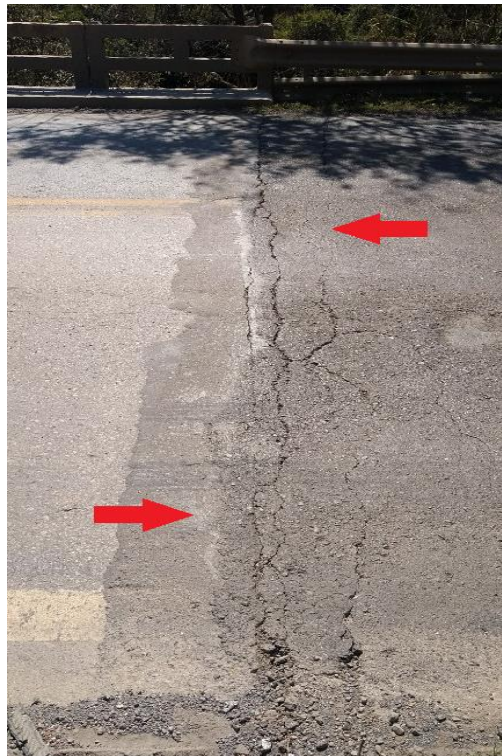
Neste capítulo serão apresentadas todas as patologias observadas nas quatro pontes examinadas e, conseqüentemente, abordando a elas todas as sugestões possíveis para o reparo perante um embasamento bibliográfico. Cabe destacar que as contribuições citadas não são conclusivas, podendo sofrer alteração quando houver elaboração do projeto de reparo, reforço ou de manutenção de cada caso.

6.1 Patologias referentes às pontes

- Ponte 1

Como pode ser demonstrado na FIG.24, no encontro entre a pista de rolamento e a rodovia, encontra-se um desnível devido à má compactação da infraestrutura do pavimento que, com o passar do tempo, gera acomodação do solo. Apresenta também fissuras pelo acentuado atrito ocasionado pelos veículos.

Figura 24 - Pista de rolamento



Fonte: O autor (2018).

Outro problema encontrado refere-se ao guarda-corpo destruído que pode ter sido ocasionado por colisão de algum veículo conforme Pereira et al. (2010). Encontram-se resíduos na borda da pista de rolamento, provocando obstrução da passagem de água pelos tubos de drenagem, acarretando infiltrações em dias chuvosos como mostra a FIG.25.

Figura 25 - Guarda-corpo destruído



Fonte: O autor (2018).

Os encontros possuem uma brecha contendo mais de 10 milímetros de tamanho, podendo ter sido provocada por não suportar a solicitação do empuxo do solo que é maior que a capacidade resistente ou que tenha sofrido um recalque de ambos os lados, pois a brecha está ocorrendo de cima para baixo de acordo com Costa (2016). A brecha está localizada apenas no pilar dos encontros, não atingindo as vigas de sustentação, isso supostamente pode ter sido ocorrido pelo fato das armaduras estarem em sentidos opostos, como ilustrado na FIG. 26.

Figura 26 - Brecha nos encontros



Legenda: a) Brecha nos encontros
b) Vista lateral do encontro com a brecha.

Fonte: O autor (2018).

Nota-se também que nos pilares da infraestrutura existe desagregação do concreto (FIG.27), que consiste em rupturas por esforços internos produzindo trações que o concreto não suporta. Esse tipo de patologia ocorre geralmente por cargas excessivas principalmente se forem pontuais, e com as aberturas ocorre a corrosão das armaduras pela passagem de agentes nocivos, como visto na (COSTA, 2016).

Figura 27- Vista frontal do pilar



Fonte: O autor (2018).

Observa-se a excessiva vibração na ponte sentida ao ser realizada a sua inspeção, patologia associada à deficiência de contraentamento em estruturas com vãos grandes ou amortecimento reduzido, resultando em vibrações que provocam desconforto (SARTORTI, 2008).

Surgimento de armaduras expostas por toda parte inferior do tabuleiro (FIG.28), aparentemente formada pela corrosão das armaduras que sofrem expansão de sua espessura comentando o deslocamento do concreto ou também por erro cometido na fase de execução, sendo feito uma camada de recobrimento fina que favorece a introdução de agentes corrosivos na estrutura, de acordo com o item 4.7.2.

Figura 28 - Armaduras expostas



Fonte: O autor (2018).

Por fim, a lixiviação (FIG.29) é outra patologia existente ocasionada pelas infiltrações decorrentes por danificação no sistema de drenagem da ponte, como já relatado no item 4.7.3.

Figura 29 - Lixiviação parte inferior do tabuleiro



Fonte: O autor (2018).

- Ponte 2

Foram notados diversos tipos de patologias. A primeira refere-se ao guarda-corpo danificado possivelmente por colisão de veículos ou vandalismo. A FIG.30 é capaz de demonstrar como o concreto está desprendendo da peça, provocando inclinação e, futuramente, rompimento por completo.

Figura 30 - Guarda-corpo danificado



Fonte: O autor (2018).

A lixiviação conforme mostra a FIG.31, está presente em várias partes do tabuleiro, pela ausência de drenagem que ocasiona infiltrações, formando tal patologia. Problema que atinge igualmente as armaduras, concedendo a elas corrosão, provocando assim acréscimo de seu diâmetro e deslocamento do concreto, como já visto previamente no item 4.7.2.

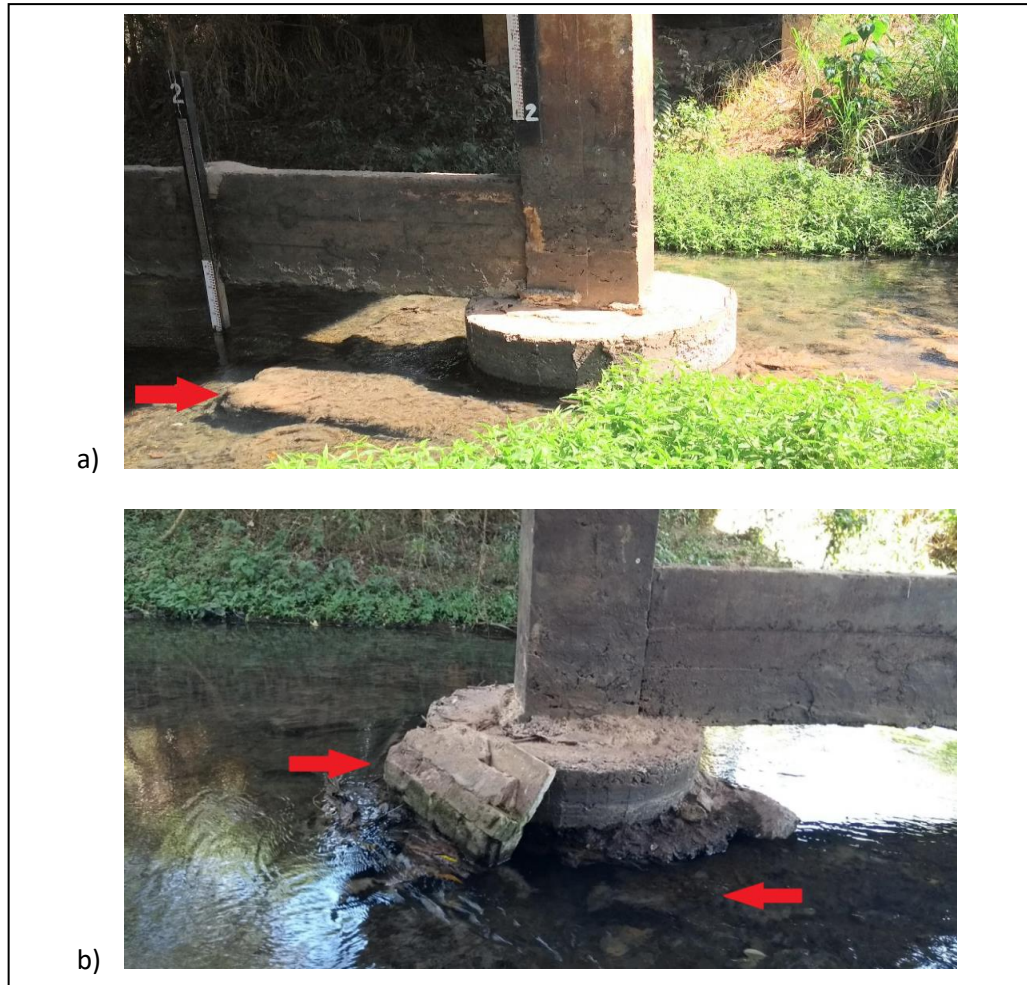
Figura 31 - Lixiviação e armadura expostas



Fonte: O autor (2018).

Outro problema bastante agravante está na perda parcial da fundação em um dos pilares da infraestrutura, possivelmente ocorrido por dois fatores: má execução da estrutura e sobrecarga aplicada gerada por uma enchente juntamente com os detritos que ela traz. Na FIG.32 é possível observar os dois pilares, sendo o primeiro em perfeito estado, demonstrando sua infraestrutura correta, e o segundo com a patologia ocorrida.

Figura 32 - Fundação



Legenda: a) Detalhe da fundação em condição ideal.
b) Perda parcial da fundação.

Fonte: O autor (2018).

Nos encontros da ponte, as armaduras expostas e a segregação do concreto foram encontradas com frequência, aparentemente pela má execução da estrutura. Quando o adensamento do concreto não é feito de maneira correta este sofre segregação, separação entre a argamassa e a brita, deixando-o assim com maior facilidade à introdução de agentes nocivos que provocam a corrosão das armaduras conforme cita Gonçalves (2015). Conseqüentemente ocorre o deslocamento do concreto, pois a camada de recobrimento não suporta tais danos. Na FIG.29 é possível visualizar o dano ocorrido.

Figura 33 - Segregação e armadura exposta



Fonte: O autor (2018).

- Ponte 3

Devido à sua idade, que é de 61 anos, a ponte contém como maior patologia suas juntas de dilatação abertas em ambos os lados e em estado de deterioração. Segundo Ferreira (2013), essa patologia pode ter ocorrido devido ao rebaixamento da estrutura e, como medida de correção, o seu recobrimento, impossibilitando a sua movimentação e assim o aparecimento de fissuras sobre o pavimento, como mostra a FIG.34. Ainda é possível notar na figura a degradação da pista de rolamento devido a abrasão dos veículos e falta de manutenção.

Figura 34- Vista superior da junta de dilatação



Fonte: O autor (2018).

Para Sartorti (2008), “a junta de dilatação aberta pode ocorrer por desgastes e quebra do concreto ou desprendimento das cantoneiras de aço ancoradas ao concreto pelo impacto dos veículos”. A FIG.35 demonstra a vista lateral da junta de dilatação danificada, podendo ser notado parte do concreto se desprendendo da ponte.

Figura 35 - Vista lateral da junta de dilatação



Fonte: O autor (2018).

Conseqüentemente, com a junta de dilatação aberta ocorre infiltração (FIG.36), provocando o surgimento de manchas no concreto pela contaminação por fungos ou mofos em locais que estão sujeitas à maior exposição à umidade, assim, produzindo corrosão das armaduras (COSTA, 2016).

Figura 36 - Corrosão das armaduras



Fonte: O autor (2018).

- Ponte 4

Uma das primeiras patologias encontradas na ponte foi a excessiva vibração quando foi realizada a sua inspeção, provavelmente por sua longa extensão. Nota-se também fissuras, conforme FIG.37, em seu pavimento ocasionadas por sobrecargas, pois se trata de uma ponte com grande movimentação de veículos pesados pelas indústrias da região, ou movimentação térmica externa pela dilatação do concreto, segundo Gonçalves (2015).

Figura 37 - Fissura no pavimento.



Fonte: O autor (2018).

Na parte inferior do tabuleiro, conforme mostra a FIG.38, é perceptível várias armaduras expostas devido a agentes agressivos que provocam corrosão das armaduras, gerando aumento significativo de seu diâmetro que, conseqüentemente, ocasionam o deslocamento do concreto, ou ocorrido por um erro na execução da estrutura, sendo colocado uma camada fina de recobrimento sobre as armaduras, onde facilitará que ocorra a corrosão das armaduras.

Figura 38 - Armadura exposta no tabuleiro



Fonte: O autor (2018).

É visto também que o concreto sofre com as infiltrações e com presença de limo FIG.39 oriundos principalmente da permeabilidade do concreto e deficiência da drenagem. (SARTORTI, 2008).

Figura 39 - Infiltração parte inferior do tabuleiro



Fonte: O autor (2018).

6.2 Recuperação das manifestações patológicas

Para a recuperação de pontes rodoviárias é de fundamental importância do conhecimento das condições de estabilidade das obras originais, de modo a permitir a melhor escolha possível dos métodos que serão adotados para garantir as condições de segurança e funcionalidades da estrutura.

Nas pontes 1, 3 e 4 foram encontradas fissuras no pavimento decorrentes da sua degradação. Patologia que segundo Pereira et al. (2010), pode ser solucionada pela remoção do concreto desde que tenha feito uma verificação sobre a estabilidade estrutural da obra para que não seja prejudicada, podendo ser superficial quando esta camada é inferior ao recobrimento da armadura e profunda quando ultrapassa o recobrimento e a própria armadura. Ainda de acordo com os autores após essa remoção, que pode ser realizada por meios mecânicos, químicos e térmicos ocorre a substituição do concreto em áreas extensas e contínuas que devem proceder da mesma forma que na construção da estrutura, entretanto devem ser seguidos alguns parâmetros para a junção do concreto velho com o novo pois o material de recuperação depende do volume de concreto a ser substituído, da profundidade, dos efeitos das cargas e condições de trabalho, mantendo as mesmas propriedades do concreto já existentes como a resistência, módulo de elasticidade e fluência.

Em especial na ponte 1 é encontrado uma brecha contendo mais de 10 milímetros de abertura, sua recuperação deve ser considerada como se fosse a vedação de uma junta de movimento necessitando da inserção de um cordão em polietileno extrudado ou de uma mangueira plástica e, como apoio e isolamento, a colocação de um isolante no fundo da brecha (SOUSA; RIPPER, 1998).

Na ponte 2 houve a perda parcial da fundação em um dos pilares, patologia que pode trazer danos a toda estrutura. Conforme Vitório e Barros (2012), a melhor solução adotada para a correção é a realização imediata de reforço para a fundação, sendo feito um escoramento para reduzir consideravelmente as cargas sobre os pilares para realizar as sondagens e elaborar um projeto para o reparo, sendo que, neste caso, caberia a reconstituição da fundação juntamente com o reforço por estacas.

De acordo com Ferreira (2013), patologias ocorridas em juntas de dilatação podem ser prevenidas com inspeções periódicas para alargar a funcionalidade e vida útil da mesma, sendo feito limpeza no sistema de drenagem, limpeza da junta no exterior e interior e substituição dos componentes danificados, mas quando esses procedimentos não ocorrem é

imprescindível a sua substituição como corre na ponte 4 que possui desgaste e quebra do concreto.

Conforme Pinheiro et al (2018), para os guarda-corpos danificados nas pontes 1 e 2, recomenda-se o remendo do concreto e o fechamento das fissuras existentes, mas para aquele que está totalmente deteriorado é sugerido a remoção da parte danificada, que seja feita a limpeza da área e umidificação do concreto existente para a adesão e colocação do novo concreto. Ainda de acordo com os autores a segregação do concreto deve ser corrigida por reconstrução com argamassas ou concretos comuns, modificados por polímeros ou grautes, fato que ocorre na ponte 2.

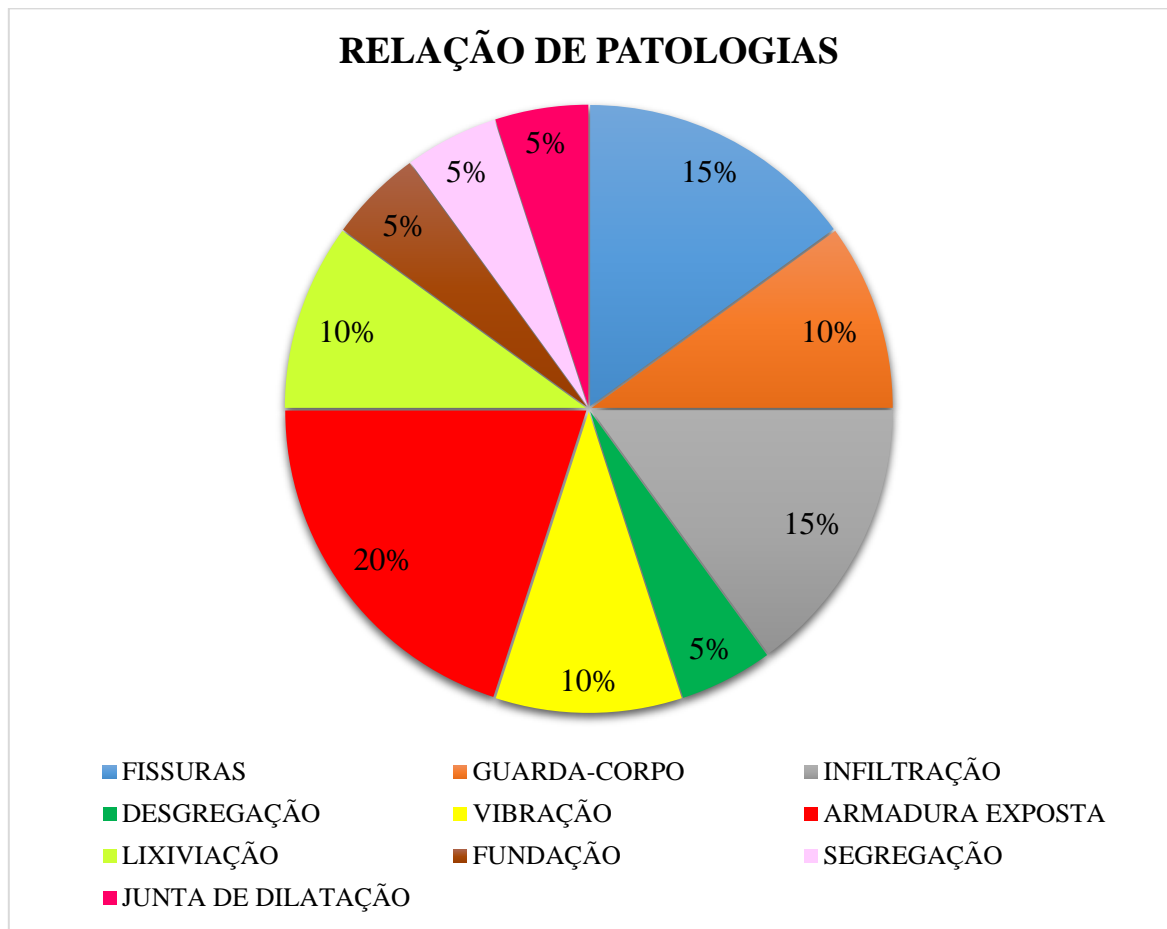
Sobre o efeito de vibração apontado nas pontes 1 e 4, deve ser corretamente investigado com o auxílio de equipamentos de precisão, propondo-se um enrijecimento da estrutura caso seja necessário (SARTORTI, 2008).

As infiltrações no concreto podem ser a causa da corrosão das armaduras que provocaram o destacamento do concreto. Corretos tratamentos de impermeabilização, proteção da superfície do tabuleiro, drenagem e limpeza contribuiriam na prevenção da corrosão, desgaste do concreto e lixiviação.

Consequentemente com a infiltração aparecem as corrosões das armaduras, patologia ocorrida em todas as pontes e, segundo Gonçalves (2015), para o tratamento das armaduras, tem que ser feita uma limpeza total da ferragem oxidada, retirando as impurezas e toda a oxidação por meio de uma escova ou um jato de areia, delimitando, assim, a área prejudicada e cortar superficialmente essa região; após isso, aplicar adesivos a base de mineral para criar uma aderência entre a armadura e o concreto para receber a camada de argamassa de cimento para a restauração.

Após citados todos os procedimentos para a reparação para as patologias, foi elaborado o GRÁF. 1 demonstrando todas as irregularidades encontradas juntamente com a porcentagem de ocorrência.

Gráfico 1 - Tipos e incidências das patologias descobertas durante a pesquisa



Fonte: O autor (2018).

É possível notar que a maioria das patologias são ocorridas na fase de planejamento/projeto e na fase de execução, como é caso das fissuras, armaduras expostas, infiltração, vibração, totalizando 60% das patologias ocorridas. Na fase de planejamento/projeto, uma das possíveis explicações é o fato da utilização de um Fck (*Feature Compression Know* - Resistência Característica do Concreto à Compressão) que não possui resistência adequada, não suportando esforços mecânicos solicitados (ANDRADE, 1997).

Ainda de acordo com o autor na fase de execução verifica-se uma grande parte dos problemas devido à ocorrência de cobrimento insuficiente das armaduras, provocando armadura exposta. Esta falha pode ser associada tanto na etapa de planejamento/projeto, pela inadequada estimativa das condições onde a estrutura estará inserida, quanto na fase de execução, pela ausência ou deficiência do uso de espaçadores, não garantindo assim o recobrimento mínimo estabelecido no projeto.

A segregação e a desagregação, apesar de possuírem um percentual baixo totalizando apenas 10%, encontram-se relacionadas com a etapa de execução decorrentes de falhas no sistema de formas, concretagem, lançamento, adensamento e cura do concreto (GONÇALVES, 2015).

Patologias ocorridas no guarda-corpo são devidas às ações excepcionais, como as colisões de veículos já visto no item 4.4.3, totalizaram 10% dos parâmetros examinados, revelando pouca frequência. Outra patologia que apresentou baixa manifestação foi a junta de dilatação, com apenas 5%, ocasionada pela falta de manutenção ou erros de planejamento no projeto. Em ambos os casos, não se verificou manutenção exigida pelo órgão responsável, DEER (Departamento de Edificação e Estradas de Rodagem de Minas Gerais), ocasionando maiores problemas.

7 CONCLUSÃO

Considerando que o objetivo da pesquisa foi avaliar o estado de conservação de cada ponte nas proximidades do município de Arcos - MG e sendo sugerida uma solução viável para cada caso encontrado, percebe-se que as pontes contêm patologias que podem comprometer a durabilidade da estrutura, pois por meio delas podem surgir outros problemas que reduzirão gradativamente a vida útil da estrutura.

A revisão bibliográfica na qual o trabalho foi fundamentado revelou a importância de um projeto elaborado demonstrando todas as possíveis interferências que podem ocorrer em uma estrutura, dando a este projeto um caráter funcional, econômico, estético e ambiental, estando disposto também neste projeto a segurança da estrutura e programa de inspeção e manutenção da obra, para que não ocorra tais patologias encontradas.

Como visto no gráfico a grande maioria das patologias verificadas estão relacionadas com erros cometidos na fase de planejamento/projeto e execução, danos que podem trazer graves problemas à estrutura, como fissuras, corrosão das armaduras e infiltração.

Finalmente, conclui-se que a melhor alternativa para se evitar as patologias é a prevenção. Prevenção deve ser gerada não somente por um correto projeto ou por uma execução dentro dos parâmetros de qualidade, mas principalmente por um programa de manutenção estrutural. Estes programas possuem papel importante em qualquer estrutura, facilitando as verificações dos estados de deterioração estrutural e favorecendo a redução de custos dos tratamentos. Esses procedimentos, certamente, evitarão a formação de patologias acentuadas e generalizadas.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Jairo Jose de Oliveira. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco.** 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: **Ações e segurança nas estruturas- Procedimento.** Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7187: **Projeto de Pontes de Concreto Armado e de Concreto Protendido – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2003.
- BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- COSTA, Hugo Oliveira. **Avaliação de patologias em obras de arte especiais utilizando a metodologia GDE/UnB.** 2016.
- DEBS, M. K. El; TAKEYA, T. **Introdução às pontes de concreto.** 2007. 221 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- FERREIRA, Carlos Manuel Sebastião. **Tipologia, instalação, funcionamento e manutenção de diversos tipos de juntas de dilatação em Obras de Arte.** 2013. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- GENTIL, Vicente. **Corrosão.** 6ª edição. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois SA, 1996.
- GEMELLI, Eduardo; BELING, Roger Willians. **Diagnosticar as manifestações patológicas e determinar o tempo para intervenção no pontilhão p-m4 na refinaria presidente getúlio vargas–repar/petrobras.** 2007. Tese de Doutorado. Dissertação de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Tuiuti, Curitiba, PR.
- GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2015.
- LANER, Felice José. **Manifestações patológicas nos viadutos, pontes e passarelas do município de Porto Alegre.** 2001.
- LENCIONI, J. W. **Proposta de manual para inspeção de pontes e viadutos em concreto armado–discussão sobre influência dos fatores ambientais na degradação de obras-de-arte especiais.** 2005. 187 f. 2005. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Infraestrutura Aeronáutica) – Programa de Pós-Graduação em Infraestrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos.
- MARCELLI, Mauricio. **Sinistros na construção civil.** São Paulo: Ed. Pini, 2007.
- MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de concreto armado.** São Paulo. Blucher, 2008.

MATTOS, T. S. **Programa de análise de superestrutura de pontes de concreto armado e protendido**. 2001. 167 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MÜLLER, R. **Critérios para o planejamento e execução de recuperações estruturais em pontes e viadutos rodoviários no estado do paraná**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 136, 2004.

PEREIRA, J. L. M. B. et al. **Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários**. DNIT, Rio de Janeiro, 2010.

PFEIL, W. **Pontes em concreto armado**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 1979. 464 p.

PINHEIRO, Catarina de Nazaré Pereira et al. **Análise de Manifestações Patológicas em um Viaduto Localizado no Centro da Cidade de Belém-PA**. 2018.

PINHO, Fernando Ottoboni; BELLEI, Ildony Hélio. **Pontes e viadutos em vigas mistas**. Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2007.

SARTORTI, Artur Lenz et al. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas-SP**. 2008.

SOUZA, Vicente Custodio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. Pini, 1998.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão**. CREA-PE, 2002.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Um Estudo Comparativo sobre Métodos de Alargamento de Pontes Rodoviárias de Concreto Armado, com a utilização das normas brasileiras e Eurocódigos**. 2013.

VITÓRIO, José Afonso Pereira; BARROS, Rui Manuel Meneses Carneiro de. **Análise dos danos estruturais e das condições de estabilidade de 100 pontes rodoviárias no Brasil**. Segurança, Conservação e Reabilitação de Pontes, ASCP, Porto: Portugal, p. 62-70, 2013.

VITÓRIO, José Afonso Pereira; BARROS, Rui Manuel Meneses Carneiro de. **Reforço de Fundações de Pontes e Viadutos-Três Casos Reais**. In: V Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Rio de Janeiro. 2012.