



Centro Universitário de Brasília - UNICEUB  
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS  
Curso: Engenharia Civil

TÂMARA MAGALHÃES DE OLIVEIRA SANTANA  
MATRÍCULA: 2160278/1

**INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS:  
ESTUDO DE CASO  
PONTES DE CONCRETO ARMADO**

Brasília  
2017

TÂMARA MAGALHÃES DE OLIVEIRA SANTANA

**INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS:  
ESTUDO DE CASO  
PONTES DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão Curso (TCC)  
apresentado como um dos requisitos  
para a conclusão do curso de  
Engenharia Civil do UniCEUB – Centro  
Universitário de Brasília

Orientadora: Eng<sup>a</sup> Civil Rosanna Duarte  
Fernandes Dutra, M.Sc.

Brasília  
2017

TÂMARA MAGALHÃES DE OLIVEIRA SANTANA

**INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS:  
ESTUDO DE CASO  
PONTES DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado como um dos requisitos  
para a conclusão do curso de  
Engenharia Civil do UniCEUB – Centro  
Universitário de Brasília

Orientadora: Eng<sup>a</sup> Civil Rosanna Duarte  
Fernandes Dutra, M.Sc.

Brasília, 10 de julho de 2017.

**Banca Examinadora**

---

Eng<sup>a</sup>.Civil: Rosanna Duarte Fernandes Dutra, MSc.  
Orientadora

---

Eng<sup>o</sup>. Civil: Jairo Furtado Nogueira, MSc.  
Examinador Interno

---

Eng<sup>a</sup>. Civil: Erika Regina Costa Castro, MSc.  
Examinador Interno

## RESUMO

Um dos maiores desafios que a engenharia civil enfrenta é ligar diferentes destinos onde existem obstáculos, como rios, vales, vias. Por isso, há uma obra destinada a transpor estes obstáculos, a ponte, que a partir de 1900, começaram a ser construídas de concreto, como substituto da pedra natural, e alguns elementos da obra, como lajes de tabuleiro, eram construídos de concreto armado. Em 1948, o concreto protendido conquistou a construção de pontes. Hoje, as estruturas feitas com concreto armado são o método construtivo mais utilizado no Brasil. Com as diversas etapas que compõem o processo construtivo é necessário fazer um estudo do que pode afetar a estrutura e causar problemas futuros. O presente estudo revela as manifestações patológicas da Ponte do Bragueto, localizada em Brasília/DF. Este trabalho traz a termografia, como meio de investigação, para agregar informações para o diagnóstico das patologias mais frequentes observadas na construção de pontes. É feito um levantamento dos tipos de patologias, identificação das causas e das técnicas para correção destes problemas. É apresentado estudo de caso real, com registros fotográficos dos problemas encontrados, as possíveis causas e providências que poderiam ser tomadas para solucionar as patologias.

Palavras-chave: patologia, estrutura, concreto armado, pontes.

## ABSTRACT

One of the biggest challenges facing civil engineering is to link different destinations where there are obstacles, such as rivers, valleys, roads. Therefore, there is a work destined to transpose these obstacles, the bridge, which from 1900, began to be constructed of concrete, as substitute of the natural stone, and some elements of the work, like slabs of board, were constructed of reinforced concrete. In 1948, the prestressed concrete conquered the construction of bridges. Today, structures made from reinforced concrete are the most used constructive method in Brazil. With the several steps that make up the constructive process it is necessary to make a study of what can affect the structure and cause future problems. The present study reveals the pathological manifestations of the Ponte do Bragueto, located in Brasília / DF. This work brings thermography, as a means of investigation, to aggregate information for the diagnosis of the most frequent pathologies observed in the construction of bridges. It is made a survey of the types of pathologies, identification of causes and techniques for correction of these problems. A real case study is presented, with photographic records of the problems encountered, the possible causes and measures that could be taken to solve the pathologies.

Keywords: pathology, structure, reinforced concrete, bridges.

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Partes da ponte.....   | 25 |
| Figura 2 – Tipos estruturais de pontes.....   | 26 |
| Figura 3 – Tipos estruturais de pontes.....   | 27 |
| Figura 4 – Manifestação patológica na região das esquadrias (Foto térmica e fotografia) .....     | 41 |
| Figura 5 – Patologia identificada na platibanda (Foto térmica sobreposta e fotografia).....       | 41 |
| Figura 6 – Localização de tubulação de esgoto dentro de um pilar.....                             | 42 |
| Figura 7 – Localização da tubulação do dreno de ar condicionado – Verificação de vazamento.....   | 42 |
| Figura 8 – Localização da estrutura de edifícios.....   | 43 |
| Figura 9 – Câmera FLIR C2.....  | 44 |
| Figura 10 – Localização da Ponte do Bragueto.....   | 45 |
| Figura 11 – Localização da Ponte do Bragueto.....   | 46 |
| Figura 12 – Vista lateral da Ponte do Bragueto.....   | 46 |
| Figura 13 – Danos causados por acidentes.....   | 47 |
| Figura 14 – Danos causados por acidentes.....   | 48 |
| Figura 15 – Técnicos da Defesa Civil vistoriam buraco aberto sob a laje da Ponte do Bragueto..... | 49 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 16 – Blocos de concreto caem da Ponte do Bragueto..... | 49 |
| Figura 17 – Fachada Sul da Ponte do Bragueto.....             | 52 |
| Figura 18 – Pilares em contato com o Lago Paranoá.....        | 53 |
| Figura 19 – Pilares da Ponte do Bragueto.....                 | 54 |
| Figura 20 – Danos na parte inferior da laje.....              | 55 |
| Figura 21 – Danos na parte inferior da laje.....              | 56 |
| Figura 22 – Danos na parte inferior da laje.....              | 57 |
| Figura 23 – Fissuras no pavimento.....                        | 58 |
| Figura 24 – Fachada em dois horários diferentes.....          | 59 |
| Figura 25 – Fachada Sul no final da tarde.....                | 60 |
| Figura 26 – Pilares da Ponte do Bragueto.....                 | 61 |
| Figura 27 – Pilares da Ponte do Bragueto.....                 | 62 |
| Figura 28 – Parte inferior da laje.....                       | 63 |
| Figura 29 – Danos na parte inferior da laje.....              | 64 |

**LISTA DE ABREVIações**

|           |   |
|-----------|---|
| ABNT..... | Associação Brasileira de Normas Técnicas                  |
| CEB.....  | Euro-International Committee for Concrete                 |
| DF.....   | Distrito Federal  |
| DNIT..... | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes    |
| DNER..... | Departamento Nacional de Estradas de Rodagem              |
| FIP.....  | Congress of the International Federation for Prestressing |
| Mr.....   | Momento Resistente  |
| Msd.....  | Momento Solicitante                                       |
| NBR.....  | Norma Brasileira  |
| OAE.....  | Obras de Artes Especiais                                  |
| Wk.....   | Abertura característica das fissuras                      |

**ÍNDICE DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Classes de agressividade ambiental.....                       | 29 |
| Tabela 2 – Comparativo entre termografia qualitativa e quantitativa..... | 39 |

**LISTA DE SÍMBOLOS**

|                              |  |
|------------------------------|--|
| %.....                       | Porcentagem                                  |
| $\alpha_{\text{CONC}}$ ..... | Coeficiente de dilatação térmica do concreto |
| $\alpha_{\text{AÇO}}$ .....  | Coeficiente de dilatação térmica do aço      |
| $^{\circ}\text{C}$ .....     | Graus Celsius                                |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| RESUMO   | 4  |
| ABSTRACT   | 5  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                                | 6  |
| LISTA DE ABREVIACOES.....                             | 8  |
| ÍNDICE DE TABELAS .....                                | 9  |
| LISTA DE SÍMBOLOS.....                                 | 10 |
| SUMÁRIO  | 11 |
| 1. INTRODUÇÃO.....                                     | 13 |
| 2. OBJETIVOS   | 17 |
| 2.1 Objetivo geral.....                                | 17 |
| 2.2 Objetivos específicos .....                        | 17 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                           | 18 |
| 3.1. Manifestação patológica em estruturas.....        | 18 |
| 3.2. Concreto armado e protendido.....                 | 19 |
| 3.2.1 Considerações sobre a vida útil do concreto..... | 22 |
| 3.3 Obras de arte especiais – Pontes e viadutos .....  | 24 |
| 3.3.1 Classificação das pontes .....                   | 25 |
| 3.4 Patologias estruturais comuns em pontes.....       | 27 |
| 3.4.1 Fendas e fissuras.....                           | 28 |
| 3.4.2 Corrosão de armaduras .....                      | 31 |
| 3.4.3 Pilares erodidos .....                           | 31 |
| 3.4.4 Deslizamento de encontro .....                   | 32 |
| 3.4.5 Falhas na mesoestrutura .....                    | 32 |
| 3.4.6 Falhas nas juntas.....                           | 33 |
| 3.4.7 Elementos metálicos oxidados.....                | 33 |
| 3.4.8 Deteriorações .....                              | 34 |

|  |    |
|--|----|
| 3.5 Inspeção de estruturas de pontes .....                           | 35 |
| 3.6 A técnica da termografia .....                                   | 37 |
| 3.7 Utilização da câmera termográfica .....                          | 38 |
| 3.7.1 Aplicações para monitoramento e manutenção de estruturas ..... | 40 |
| 4 METODOLOGIA .....  | 44 |
| 5 ESTUDO DE CASO: PONTE DO BRAGHETO .....                            | 45 |
| 6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS .....                         | 51 |
| 6.1 Análise visual .....   | 51 |
| 6.2 Análise termográfica das manifestações patológicas .....         | 58 |
| 7 CONCLUSÕES .....   | 65 |
| 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                   | 66 |

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico na construção civil vem sendo acompanhado de uma mudança na forma de pensar dos engenheiros. Diante de problemas apresentados em diversas construções, questões como durabilidade e manutenção das estruturas estão ganhando cada vez mais importância ao lado da estabilidade estrutural. Dentro deste contexto, cresce também a importância do estudo das patologias e das técnicas de recuperação e reforço das estruturas.

Este novo campo da Engenharia, a Patologia das Estruturas, estuda as origens, as formas de manifestação, as consequências e os mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas (SOUZA & RIPPER, 1998). A Terapia das Estruturas, ou seja, a correção dos problemas patológicos, envolve tanto a recuperação como o reforço estrutural. É importante deixar claro a diferença entre estes dois termos. Por recuperação entende-se a correção de problemas patológicos de forma a restituir total ou parcialmente o desempenho original da peça. Já o reforço engloba necessariamente o aumento da resistência ou a ampliação da capacidade portante da estrutura (REIS, 1998). De uma maneira mais ampla, pode-se utilizar o termo reabilitação, que incorpora tanto a recuperação como o reforço.

A partir do estudo das manifestações patológicas é possível, na maioria das vezes, identificar a origem dos problemas de forma a definir uma estratégia para a reabilitação estrutural. São muitas as técnicas desenvolvidas para a recuperação e o reforço das estruturas de concreto armado.

Grandes obras foram construídas algumas décadas atrás, tais como pontes, barragens, plataformas fixas, offshore e etc.. Atualmente muitas destas obras já se aproximam do final de suas vidas úteis e os custos dessa reposição, somados ao transtorno que seria gerado, criam a necessidade de se prolongar suas vidas úteis. Desta forma, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologias capazes de

monitorar o comportamento estrutural, de maneira a permitir uma intervenção rápida e segura, sempre que necessário.

Este trabalho para conclusão de curso tem como objetivo principal descrever, de forma sucinta, as principais causas das patologias que afetam as estruturas e elementos de uma ponte de concreto, sua origem, as características que possuem e possíveis métodos que as solucionem.

Para melhor entender e analisar as manifestações patológicas, faz-se necessário entender, primeiramente, o tipo de estrutura, qual método construtivo é empregado, os materiais componentes e suas propriedades. Ou seja, entender os materiais e propriedades do concreto armado e protendido.

Estudar dentre as patologias, as patologias estruturais, quais são mais frequentes nas pontes de concreto, entender a origem de cada uma. E assim, distinguir o tipo de reparação necessário. O estudo dos defeitos e dos sintomas que as patologias trazem e manifestam, ajuda a entender sobre as falhas de projeto, análise, execução e utilização dessas estruturas, pois as patologias são os principais problemas que comprometem a vida útil das construções.

No que se refere a estruturas de pontes, viadutos, passagens inferiores, túneis, que são de extrema importância para o desenvolvimento de diferentes regiões do país, integrando cidades e reduzindo distâncias. A importância das chamadas obras-de-arte especiais para o desenvolvimento e relacionamento humano, tem sido a força que impulsiona o avanço nos conhecimentos das técnicas de construção e manutenção destas estruturas.

Portanto para diversos autores e profissionais da área ainda falta ao Brasil uma cultura de manutenção de suas obras-de-arte. Segundo Lemos (2005), o que acontece, em boa parte dos casos, é um quase ou total abandono dessas estruturas, chegando a atingir um alto grau de deterioração e só então elas são recuperadas, gerando assim um custo alto se comparado a manutenções preventivas e pequenos reparos.

Devido aos acidentes estruturais acontecidos recentemente, que geraram prejuízos econômicos e alguns até com perda de vidas, a questão da conservação das estruturas está ganhando cada vez mais importância.

A garantia da vida útil prolongada e de satisfatórios desempenhos estrutural e funcional só será obtida através de uma adequada manutenção, que por sua vez deverá fazer parte de um processo mais amplo de gestão, que identifique, através de vistorias periódicas, as avarias existentes, diagnosticando-as e indicando as ações de recuperação (VITÓRIO,2005).

A avaliação da integridade de pontes e viadutos existentes, geralmente, tem como objetivo principal a realização da análise de segurança estrutural. As análises realizadas visam identificar, avaliar e caracterizar o comportamento estrutural, com o fim de fazer uma avaliação precisa sobre as atuais condições de segurança, e de forma auxiliar ao desenvolvimento de um programa apropriado de manutenção dessas construções, para as condições atuais de carregamento e também para condições futuras (trens tipos modificados). O estudo do comportamento estrutural das obras de arte existentes é feito a partir de um programa de inspeções visuais e investigação experimental, que contempla a realização de ensaios destrutivos e não destrutivos e através de simulações computacionais, imagens fotográficas e análises visuais feitas por profissionais habilitados.

A termografia, no ramo da manutenção, é uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva que tem como base a detecção da radiação infravermelha emitida naturalmente pelos corpos com intensidade proporcional a sua temperatura. Por meio desta técnica é possível identificar regiões ou pontos onde a temperatura está alterada com relação a um padrão pré-estabelecido ou conhecido. Por meio de uma gama de cores, essas imagens apresentam pontos “quentes” que não são percebidos na inspeção visual.

Segundo Bezerra et al. (2007), a termografia infravermelha tem um extenso campo de aplicação que vai desde uma simples medida de temperatura à localização

de defeitos em sistemas complexos. A termografia complementa de forma simples e econômica os trabalhos preditivos, pois para sua execução não há necessidade de paradas, permissões especiais e é realizada de forma oportunista, possibilitando um diagnóstico criterioso.

Este trabalho tem como objetivo realizar análises visuais e termográficas a fim de investigar a existência ou não de manifestações patológicas em componentes das obras de artes especiais, nos quais se desconhece as causas supracitadas aparentes ou ocultas, a câmera termográfica é capaz de medir a temperatura superficial através dos raios infravermelhos emitidos pelos materiais detectando as anomalias. Além da ampliação e geração de novos conhecimentos e resultados, este trabalho contribui para a melhoria da manutenção dos componentes desta obra em questão permitindo as equipes de manutenção realizá-la de forma programada, diminuindo os custos e aumentando a confiabilidade deste.

Segundo Cavet (2010), a verificação precisa e o controle de manifestações patológicas são de fundamental importância para garantir a vida útil para que as OAE's foram projetadas. Para isso são utilizados determinados métodos de inspeção e avaliação que dependem do tipo de obra em questão. Para tanto, no desenvolvimento deste trabalho, serão realizadas inspeções visuais fotográficas e uma inspeção termográfica para a Ponte do Bragueto, que é uma ponte rodoviária sobre o lago Paranoá, em Brasília, no Distrito Federal .

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Este trabalho tem por finalidade o levantamento e análise das manifestações patológicas que agredem as estruturas de pontes de concreto armado. Com a ajuda de registros fotográficos comuns e de uma câmera termográfica será feito o reconhecimento das patologias encontradas na Ponte do Bragueto.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Estudar as manifestações patológicas que ocorrem nas pontes;
- Analisar a estrutura, os elementos e as manifestações patológicas da Ponte do Bragueto com análise visual e termográfica;
- Verificar as patologias observadas na obra comparando as análises visuais e termográficas;
- Mostrar as principais causas das manifestações patológicas e levantar a necessidade de intervenções mais detalhadas e específicas;
- Analisar a viabilidade do uso da termografia como objeto de avaliação das estruturas de pontes.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Manifestação patológica em estruturas**

A palavra Patologia é de origem grega (páthos, doença, e lógos, estudo), e é amplamente utilizada nas diversas áreas da ciência, com denominações do objeto de estudo que variam de acordo com o ramo de atividade (SILVA, 2017). Na engenharia o termo patologia está consolidado na área de reabilitação e conservação de edificações/estruturas.

Segundo Silva (2017), a patologia é uma ciência formada por um conjunto de teorias que serve para explicar o mecanismo e a causa da ocorrência de determinada manifestação patológica, e esta última é a expressão resultante de um mecanismo de degradação. A maioria dos autores adotam como “sinônimos” os dois termos. Portanto pode-se dizer que a patologia estuda: manifestação, mecanismo de ocorrência, causa, natureza, origens e consequências. E ainda, como objetivo deste trabalho, em uma vistoria em obras-de-arte especiais, verifica-se uma manifestação patológica ou simplesmente uma patologia na estrutura.

Designa-se genericamente por Patologia das Estruturas o novo campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestações, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas, assim definem Souza e Ripper (1998). Segundo Sartorti (2008), o estudo das patologias estruturais engloba a análise detalhada do problema descrevendo as causas, as formas de manifestação, os mecanismos de ocorrência, a profilaxia e a manutenção estrutural.

A patologia pode ser definida como parte da engenharia que estuda os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções. Pode-se inferir que os motivos principais das causas de manifestações patológicas na construção

civil são deficiência de projeto, falhas na execução, qualidade dos materiais empregados e má utilização das edificações pelos usuários.

O desempenho de uma edificação está ligado ao cumprimento dos objetivos e funções para os quais ela foi projetada, propiciando aos usuários conforto térmico, acústico, luminoso, visual e antropodinâmico, questões de acessibilidade, segurança estrutural, dentre outros. Diversas normas existem para garantir, o desempenho da edificação, em especial a NBR 15575-1 (2013), que embora tenha entrado em vigor em julho de 2013 existe desde o ano 2000.

Quando a edificação apresenta algum problema, vício ou defeito subentende-se que não se verifica o seu bom desempenho, seja dos materiais empregados ou do sistema adotado. Parte desses problemas é chamada de manifestações patológicas, que na construção civil é qualquer manifestação ou anomalia que venha danificar ou prejudicar o desempenho de um elemento construído.

Listam-se os gastos desnecessários de tempo e dinheiro para reparo dos elementos construídos como impactos negativos causados pelas manifestações patológicas. Além disso, existem os transtornos causados aos moradores, ocasionados pela convivência e reparo dessas manifestações patológicas, podendo inclusive relacionar problemas de saúde aos usuários.

Por outro lado, o conceito de durabilidade é definido pela norma NBR 6118 (2014), a qual versa que durabilidade está na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais a qual está exposta. Sendo estas previstas e determinadas pelo autor do projeto estrutural em conjunto com o contratante.

### **3.2. Concreto armado e protendido**

O concreto é o material construtivo mais usado pelo homem e pode ser encontrado em vários tipos de obra, casas de alvenaria, pontes, barragens. Pode-se

afirmar que é uma pedra artificial, pois depois de endurecida, tem resistência similar às rochas naturais. Porém, quando em estado fresco, é um composto plástico que possibilita a modificação de seu formato e tamanho (CONCRETO, 2009).

A resistência do concreto é considerada uma de suas propriedades mais importantes, pois apresenta boa resistência à compressão, no entanto é um material frágil à tração e conseqüentemente à flexão e cortante. Por este motivo, a denominação concreto armado ou protendido, onde o aço, que tem boa resistência à tração e flexão, é associado ao concreto (TEJEDOR, 2013).

O concreto sozinho não é adequado como elemento resistente, pois enquanto tem uma boa resistência à compressão, pouco resiste à tração, cerca de 10% da sua resistência à compressão. Conseqüentemente, para aumentar a resistência dos elementos estruturais, é importante associar ao concreto um material com alta resistência à tração, sendo mais comum o aço, que disposto de forma conveniente, resiste às tensões de tração atuantes. Dessa maneira, os dois materiais, concreto e aço, formam o concreto armado (CARVALHO, 2016).

Esse material composto, deve trabalhar em conjunto, e isso se torna possível devido a aderência entre a superfície do aço e do concreto. Pois, a armadura tracionada só funciona quando a deformação do concreto ocorre, o que caracteriza as armaduras passivas.

A armadura do concreto armado é chamada de armadura passiva, que significa que as tensões e deformações nela aplicadas se devem aos carregamentos aplicados nas peças onde está inserida. Em resumo, o concreto armado é obtido por meio da associação entre concreto simples e armadura passiva convenientemente colocada, de tal modo que ambos resistam aos esforços solicitantes.

No concreto protendido, as tensões prévias de compressão. São aplicadas nas regiões dos elementos que serão tracionadas pelo carregamento. Desta maneira, as tensões de tração são diminuídas ou mesmo anuladas pela compressão pré-aplicada. Essa força de protensão é resultado do pré-alongamento da armadura ativa. A

protensão é um sistema construtivo no qual, por meio de processo mecânico, o aço é tensionado, aproveitando ao máximo a resistência do material (CHOLFE, 2015).

Os sistemas de protensão aplicados durante a construção da obra se classificam em pré-tração e pós-tração. No sistema de pré-tração, por exemplo, o alongamento da armadura ativa é feito utilizando-se apoios, antes do lançamento do concreto. Pós o concreto lançado alcançar a resistência mínima, o esforço da armadura é removido, transferindo os esforços de compressão ao concreto.

Outro sistema de protensão é a pós-tração, que pode ser feita com aderência posterior, sem aderência posterior e com protensão externa. O sistema de pós-tração com aderência ocorre com o pré-alongamento da armadura ativa após o endurecimento do concreto. A aderência posterior é desenvolvida com a injeção de uma calda de cimento, preenchendo os espaços vazios no interior das bainhas. A transferência da protensão é feita através das ancoragens na própria peça. As unidades de protensão são constituídas por fios que ficam isolados do concreto por estarem no interior das bainhas metálicas.

A segunda pós-tração é sem aderência, que segundo o item 3.1.9 da NBR 6118/2014, se trata de peças protendidas onde não existe a aderência entre armadura ativa e o concreto. A ligação entre a armadura e o concreto ocorre apenas nas ancoragens, onde a força de protensão é transferida. O processo construtivo é o mesmo citado na pós-tração com aderência, eliminando a calda de cimento e utilizando a cordoalha engraxada.

Já a pós-tração com protensão externa ocorre quando a armadura ativa estiver atuando fora da seção de concreto, a peça protendida estará sob o efeito de uma protensão externa, que pode ser encarada como uma força aplicada em posição adequada (CHOLFE, 2015).

### 3.2.1 Considerações sobre a vida útil do concreto

É imprescindível que as estruturas de concreto continuem desempenhando as funções para as quais foram projetadas, ou seja, que elas mantenham a resistência necessária e sua condição de utilização durante a vida útil<sup>1</sup> esperada.

Durabilidade não quer dizer vida infinita, deve-se entender que para ter uma construção durável é necessário a adoção de um conjunto de decisões e procedimentos, ou seja a manutenção, que garanta o desempenho satisfatório da estrutura durante sua vida útil.

De acordo com a ABNT NBR 6118/2014, existem diretrizes para a durabilidade das estruturas de concreto. Elas devem ser projetadas e construídas, levando em consideração as condições ambientais, a utilização e conservar a segurança que estavam previstas na concepção do projeto.

A durabilidade da estrutura de concreto está ligada à qualidade da mistura de seus materiais componentes, à relação água-cimento, através da formação de poros. Deve ser considerado, também, o envelhecimento e a deterioração sofridos pela estrutura.

A classe de agressividade do ambiente é a referência da NBR 6118/2014, para definir critérios de projeto, como o cobrimento nominal da armadura, diminuindo o risco de deterioração da estrutura.

A Norma também define outros critérios de projeto a serem adotados, visando garantir a durabilidade das estruturas. Além dos mencionados, é preciso analisar as questões de drenagem e formas arquitetônicas e estruturais, detalhamento de armaduras, controle de fissuração, inspeção e manutenção preventiva.

---

<sup>1</sup> A vida útil de projeto é o período de tempo durante o qual a estrutura de concreto manteve suas características e não houveram intervenções significativas. Mantendo os requisitos previstos, pelo projetista, de uso e manutenção.

Nas longarinas, transversinas e lajes fez-se a verificação de fissuras e verificação no estado limite último em flexão simples e cisalhamento, segundo a NBR 6118/2014, e verificação à fadiga de acordo com o CEB-90.

No estado limite último é verificada se os momentos solicitantes são menores ou iguais ao momento resistente,  $M_{sd} \leq M_r$  na flexão simples. São considerados esforços devidos ao carregamento permanente e à carga móvel.

Para a verificação do cisalhamento são seguidas as recomendações da NBR 6118/2014, item 17.4.2.1, que considera atendida a resistência à força cortante em estado limite último quando o cortante solicitante de cálculo é maior ou igual à força cortante resistente de cálculo relativa à ruína por compressão diagonal do concreto, e à força cortante resistente de cálculo relativa à ruína por tração diagonal, composta pela contribuição do concreto e das armaduras.

O estado limite de abertura de fissuras (item 17.3.3.2 da NBR 6118/2014) é caracterizado pela situação em que as fissuras se apresentam com aberturas características ( $w_k$ ) iguais ou menores aos máximos especificados. Os limites máximos dessas aberturas são em função das classes de agressividade ambiental, descritas na NBR 6118/2014.

Em estruturas bem projetadas e construídas e submetidas a ações previstas na normalização, a presença de fissuras com aberturas que respeitem os limites estipulados na norma, não denota perda de durabilidade ou perda de segurança quando aos estados limites últimos, segundo as prescrições da NBR 6118/2014. As verificações de vida útil à fadiga das longarinas são realizadas para os esforços normais e tangenciais. A contagem de ciclos é realizada por meio do algoritmo de Rainflow (SCHIJVE, 2001). Após da contagem de ciclos, o dano é calculado para a passagem de um trem, empregando-se a Teoria de Miner (SCHIJVE, 2001), onde a vida útil à fadiga para um trem é o inverso do dano.

Para lajes, a verificação da vida útil à fadiga do concreto é realizada a partir do método simplificado do CEB-FIP, que é análogo ao recomendado pela NBR 6118. No

caso dos pilares, faz-se a verificação no estado limite último em flexão composta com efeitos de segunda ordem seguindo o proposto pela NBR 6118/2014, e a determinação da vida útil a fadiga segundo o CEB-90.

Ao final das análises, deve ser dado um parecer técnico para cada obra de arte analisada, com informações das atividades realizadas, mapeamento das anomalias, resultados dos ensaios, observações técnicas e especificações de recuperação.

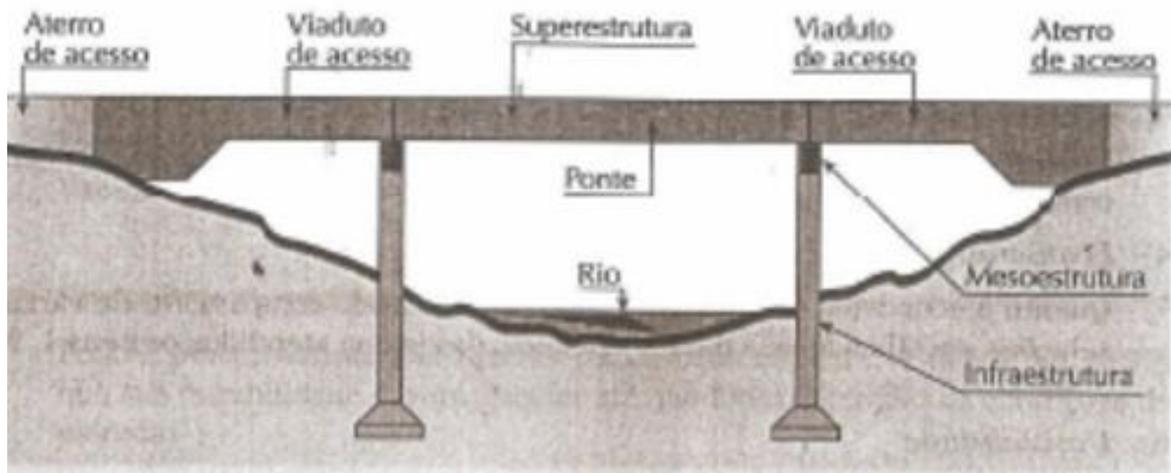
### **3.3 Obras de arte especiais – Pontes e viadutos**

Pontes são obras da engenharia projetadas para dar continuidade à via por onde passam, possibilitando transpor obstáculos, como rios, vales ou outras vias. Quando o obstáculo é um vale ou outra via, a obra denomina-se viaduto.

Segundo Pfeil (1979), sob o ponto de vista funcional, as pontes podem ser divididas em três partes principais (Figura 1): infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura. A infraestrutura é a parte da ponte constituída por elementos que se destinam a apoiar no terreno os esforços transmitidos da superestrutura para a mesoestrutura. A infraestrutura é constituída por blocos de estacas, sapatas, tubulões. Já a mesoestrutura é a parte da ponte constituída pelos pilares. É o elemento que recebe os esforços da superestrutura e os transmite à infraestrutura. (MARCHETTI, 2008).

Ainda segundo Pfeil (1979), a superestrutura é composta por lajes e vigas principais e secundárias, é o elemento de suporte imediato do estrado, que constitui a parte útil da obra, sob o ponto de vista de sua finalidade.

FIGURA 1 - Partes da ponte.

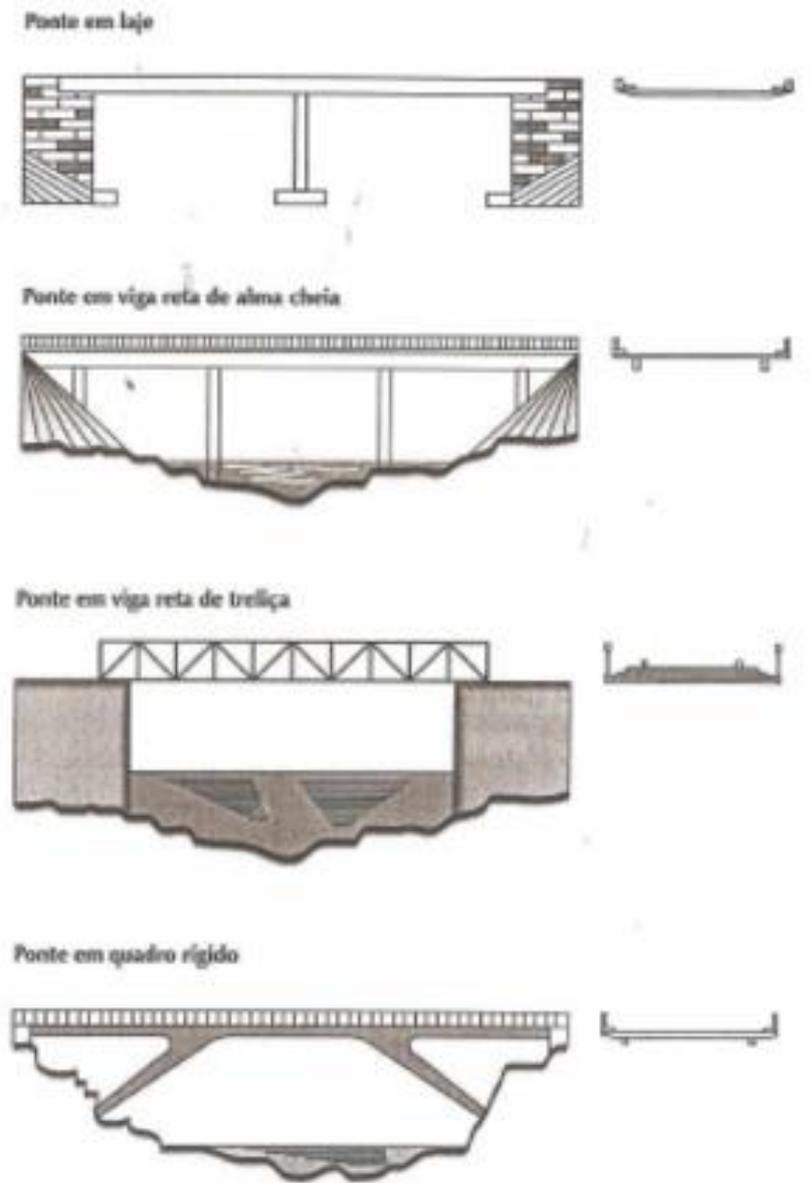


FONTE: MARCHETTI, 2008, p. 1

### 3.3.1 Classificação das pontes

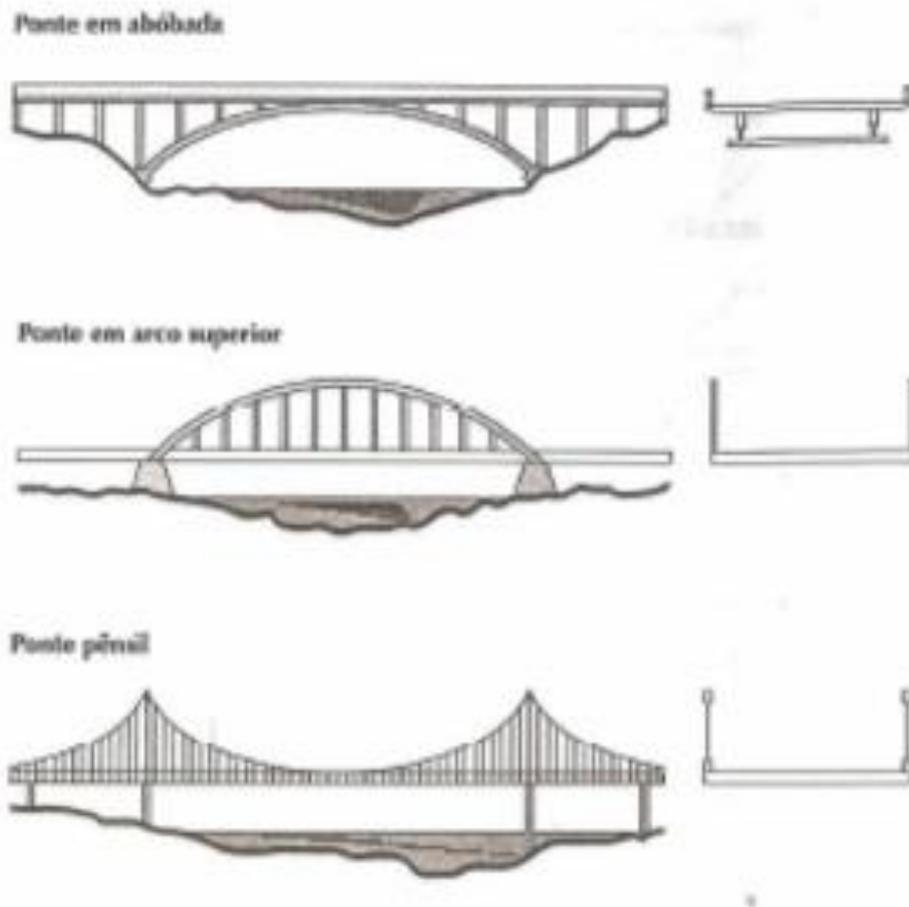
Segundo Marchetti (2008), a classificação das pontes pode ser realizada levando em consideração várias características, como a extensão do vão, segundo o desenvolvimento planimétrico, altimétrico, a finalidade, os materiais utilizados para a sua construção, tipo estrutural (Figuras 2 e 3), segundo a mobilidade dos tramos, o tipo construtivo da superestrutura, a durabilidade e o tipo de tráfego a ser empregado.

FIGURA 2 – Tipos estruturais de pontes



FONTE: MARCHETTI, 2008, p. 5

FIGURA 3 – Tipos estruturais de pontes



FONTE: MARCHETTI, 2008, p. 6

### 3.4 Patologias estruturais comuns em pontes

Grandes estruturas, como pontes e viadutos, geralmente se encontram sob a responsabilidade do Poder Público, e requerem, para sua manutenção, um planejamento cuidadoso para sua correta conservação.

A utilização contínua, os fatores climáticos, os movimentos de acomodação e sísmicos são causas de patologias que aparecem ao longo do tempo. Cada material ou componente reage de uma forma particular aos agentes agressivos, que a partir

das condições citadas, podem se manifestar em forma de deterioração, alterando as características químicas e físicas desses materiais. As consequências destes processos de alteração podem vir a comprometer o desempenho de uma estrutura ou material.

Neste trabalho, porém, serão abordadas apenas as manifestações patológicas nas pontes de concreto.

### **3.4.1 Fendas e fissuras**

Por definição, segundo a norma do DNIT 083 (2006), a trinca é uma fratura linear no concreto; as trincas podem se desenvolver parcial ou completamente ao longo de um elemento estrutural, não havendo uma separação nítida e indiscutível entre trincas e fissuras, tendo essas últimas aberturas menores. A norma da ABNT NBR 9575 (2010) define que as microfissuras têm abertura inferior a 0,05 mm, as fissuras têm aberturas de até 0,5 mm e, por fim, as trincas têm aberturas maiores de 0,5 mm e menores de 1,0 mm.

No concreto armado, a fissuração das estruturas é inevitável e inerente a própria técnica de dimensionamento como pregam as normas e regulamentos. Sartorti (2008) descreve que concreto é um material com baixa resistência à tração e as fissuras inerentes a essa solicitação são comuns e, já no caso de fissuras por compressão, o estado da estrutura é mais crítico, pois o concreto está sob efeito de esmagamento e ruptura frágil.

Entretanto, segundo o Manual do DNER (2004) elas passam a se constituir em problema patológico quando apresentam abertura superior aos valores admissíveis ou quando não são originárias do funcionamento normal da peça estrutural. Dentre todas as patologias, exceto no caso de deformações muito acentuadas, é a que, segundo Souza e Ripper (1998), mais chama a atenção dos leigos, proprietários e usuários aí incluídos, para o fato de que algo de anormal está a acontecer.

A norma para projetos de estruturas de concreto, NBR 6118 (2014), descreve limites de abertura de fissuras segundo a classe de agressividade do meio onde a estrutura se encontra. A Tabela 1 relaciona o ambiente em que a estrutura irá atuar com a classe de agressividade ambiental e relaciona esta com a abertura limite de fissura a adotar nos projetos de estruturas concreto armado.

Tabela 1 – Classes de agressividade ambiental

| Classe de agressividade ambiental | Agressividade | Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto | Risco de deterioração da estrutura |
|-----------------------------------|---------------|--|------------------------------------|
| I                                 | Fraca         | Rural  | Insignificante                     |
|                                   |               | Submersa   |                                    |
| II                                | Moderada      | Urbana <sup>1), 2)</sup>                                       | Pequeno                            |
| III                               | Forte         | Marinha <sup>1)</sup>  | Grande                             |
|                                   |               | Industrial <sup>1), 2)</sup>                                   |                                    |
| IV                                | Muito forte   | Industrial <sup>1), 3)</sup>                                   | Elevado                            |
|                                   |               | Respingos de maré  |                                    |

FONTE: NBR 6118/2014

As obras-de-arte especiais não diferem de quaisquer outras em relação à fissuração de suas partes de concreto. Lourenço et al (2017) afirmam que a ocorrência de fissuras é um fenômeno bastante comum nas pontes de concreto armado em todo mundo. Sua origem está relacionada a uma distribuição irregular de tensões no interior da estrutura, embora também possa ser originada a partir da decomposição ou desagregação do concreto. Ou seja, a formação das fissuras está ligada a situações externas ou internas.

As causas que originam as fendas e fissuras em pontes, segundo DNIT 083 (2006) são:

- Assentamento plástico do concreto e retração plástica do concreto: Ocorrem antes do endurecimento do concreto e ambas estão associadas com a exsudação. Segundo o Manual do DNER (2004), as fissuras de

retração plástica surgem logo após o adensamento e acabamento da superfície horizontal do concreto. Ela é provocada pela rápida perda da água de amassamento, que ocorre por absorção excessiva das formas ou principalmente pela evaporação. A fissuração por assentamento plástico, ocorre sempre que este movimento natural da massa, resultante da ação da força da gravidade, é impedido pela presença de fôrmas ou de barras da armadura (SOUZA e RIPPER, 1998).

- **Retração térmica inicial:** As fissuras de retração térmica podem ser de origem interna ou externa. As de origem interna estão associadas à liberação de calor das reações exotérmicas de hidratação do cimento. Estas ocorrem nas primeiras idades do concreto (entre um dia e três semanas após a concretagem), durante o processo de resfriamento do mesmo (DNER, 2004).
- **Fissuras de retração térmica:** As fissuras de retração térmica podem ser de origem interna ou externa. As de origem interna estão associadas à liberação de calor das reações exotérmicas de hidratação do cimento. Estas ocorrem nas primeiras idades do concreto (entre um dia e três semanas após a concretagem), durante o processo de resfriamento do mesmo (DNER, 2004). Devido ao resfriamento a peça contrai e, se impedida, leva a fissuração.
- **Fissuras devidas à ação dos carregamentos/sobrecargas:** Segundo Souza (2001), a atuação de sobrecargas, previstas ou não em projeto, pode produzir a fissuração de componentes de concreto armado sem que isto implique, necessariamente, ruptura do componente ou instabilidade da estrutura.

### **3.4.2 Corrosão de armaduras**

A corrosão da armadura, certamente, é a mais generalizada das patologias do concreto, sendo observada, principalmente, em peças de concreto aparente. Apresenta-se como o principal mecanismo de deterioração das estruturas de concreto armado. Ambientes agressivos, porosidade elevada, alta capilaridade, deficiência no cobrimento, materiais de construção com problemas e fissuração acentuada, são os fatores preponderantes na influência da criação de um estado de corrosão da armadura (SARTORTI, 2008).

Segundo Sartorti (2008), a particularidade da corrosão do concreto está em que as reações de deterioração são somente químicas e não eletroquímicas, que predominam no aço. A corrosão ocorre por causa da reação da pasta de cimento com determinados elementos químicos, causando em alguns casos a dissolução do ligante ou a formação de compostos expansivos, que são fatores deteriorantes do concreto (DESTRO, 2011).

### **3.4.3 Pilares erodidos**

Os pilares das pontes podem ser afetados, segundo Tejedor (2013), por:

- Fissuras por deficiência de fretagem;
- Quebra de cantos por falta de folgas entre extremidades;
- Ausência de enrocamentos, responsáveis pela redução dos efeitos que a corrente de água tem sobre os pilares;
- Ação contínua da água.

#### **3.4.4 Deslizamento de encontro**

Os encontros das pontes podem sofrer deslizamentos originados em:

- Desaprumos por pressão de aterros de acesso;
- Elementos estruturais mal executados;
- Cargas móveis e permanentes excessivas;
- Nascimento de raízes de árvores;
- Terreno mal compactado;
- Ação da água em regime normal ou nas cheias;
- Deslizamentos de terra.

#### **3.4.5 Falhas na mesoestrutura**

Os aparelhos de apoio e os apoios intermediários devem ser examinados para os seguintes sinais de degradação (DNER, 2004):

- Trincas nos pilares;
- Quebras de cantos nos topos dos pilares;
- Degradação do concreto;
- Degradação das armaduras;
- Recalques de apoio;
- Mau funcionamento das juntas de dilatação;
- Movimentação de estrados;

- Dimensionamento incorreto;
- Excesso de reação vertical e/ou horizontal.

### **3.4.6 Falhas nas juntas**

As juntas de uma ponte podem ser afetadas pelas seguintes ações:

- Dimensionamento incorreto das juntas da ponte, não se prevendo adequadamente possíveis expansões ou retrações do concreto;
- Acúmulo de detritos;
- Variações extremas de temperatura;
- Impactos de veículos pesados;
- Desgaste ou ausência do material da junta, originados pelo uso ou por uma má conservação.

### **3.4.7 Elementos metálicos oxidados**

Os elementos metálicos das pontes podem sofrer os efeitos da oxidação originados em (DNER, 2004):

- Corrosão ambiental, como a presença da umidade, do oxigênio;
- Corrosão bacteriológica causada por organismos ou águas contaminadas;
- Corrosão sob tensões de tração;
- Ausência de proteção adequada e eficiente das superfícies metálicas.

### 3.4.8 Deteriorações

Segundo Tejedor (2013), as deteriorações nas pontes podem ser originadas por:

- Impactos produzidos pelo trânsito: em meio-fio, calçadas, defensas, muretas;
- Desgaste e envelhecimento das estruturas e dos materiais;
- Ausência de manutenção adequada;
- Impactos nas vigas devido à insuficiência ou desrespeito do gabarito.

Outras patologias que podem ocorrer nas estruturas de pontes segundo a Instrução de Projeto do DER-SP (2006):

- Deficiências do projeto;
- Movimentação do escoramento e de formas, fuga de nata de concreto;
- Deficiências de execução;
- Recalques diferenciais;
- Ataque biológico;
- Falta de aderência entre concreto e concreto, e concreto e aço;
- Desgaste do concreto: atrito, abrasão;
- Flechas, desaprumo, recalques, flambagem, ligações e emendas de peças;
- Esmagamento, deslocamento e distorção de aparelhos de apoio;
- Recalques nos encontros da obra;

- Erosão dos taludes de acesso;
- Drenagem da obra de arte especial, dos taludes de acesso e nos acessos à obra.

### **3.5 Inspeção de estruturas de pontes**

A manutenção das OAE's compreende importantes processos que contribuem para a conservação e a melhoria de desempenho das mesmas. A atividade de inspeção de estruturas de concreto faz uso de diferentes técnicas, como a análise visual detalhada da estrutura. Com base na intensidade e gravidade das manifestações patológicas observadas e também o conhecimento da agressividade ambiental e das características e do uso das estruturas.

Além disso, empreendimentos de recuperação e reabilitação são custosos, o que aumenta a relevância da manutenção e da prevenção de patologias nessas estruturas.

Por manutenção preventiva entende-se aquela que é executada a partir das informações fornecidas por inspeções levadas a efeito em intervalos regulares de tempo, de acordo com critérios pré-estabelecidos de redução das probabilidades de ruína ou de degradação da estrutura, visando uma extensão programada de sua vida útil (SOUZA e RIPPER, 1998). A manutenção corretiva é a manutenção da infraestrutura física das OAE's que aconteça em função da ocorrência de falha/defeito, e segundo Helene (2004), corresponde aos trabalhos de diagnóstico, reparo, reforço e proteção das estruturas que já perderam sua vida útil de projeto e apresentam manifestações patológicas evidentes.

No Brasil a norma da ABNT NBR 9452 (1986) fixa as condições exigíveis na realização de vistorias (ou inspeções) em pontes e viadutos de concreto e na

apresentação dos resultados destas vistorias. Estas aplicam-se também às obras de arte correntes de concreto.

Segundo NORMA DNIT 010/2004-PRO, existem diferentes tipos de inspeção:

- Inspeção cadastral: é a primeira inspeção que se realiza em uma ponte e, preferencialmente ou mesmo, obrigatoriamente, logo após sua construção, quando ainda se encontram disponíveis os elementos de projeto e os relatórios da fiscalização ou supervisão, que devem conter todos os informes construtivos (DNIT 010/2004-PRO, 2004). Segundo a mesma norma, trata-se de uma inspeção fartamente documentada que servirá de referência para todas as inspeções posteriores.
- Inspeção rotineira: é uma inspeção programada, em intervalos, geralmente de um ou dois anos, e é destinada a identificar qualquer anomalia em desenvolvimento. A Norma DNIT 010/2004-PRO (2004) propõe um intervalo mais dilatado entre as inspeções, habitualmente de dois anos. Ainda segundo a norma, nessas inspeções deve ser verificada visualmente a evolução de falhas detectadas em inspeção anterior, bem como anotados novos defeitos e ocorrências, tais como reparos, reforços, recuperações e qualquer modificação de projeto, realizadas no período. Não existindo ou não tendo sido localizada a Inspeção Cadastral, a primeira Inspeção Rotineira deve ser transformada em Inspeção Cadastral.
- Inspeção especial: é efetuada em intervalos de no máximo cinco anos, em todas as pontes consideradas excepcionais, pelo seu porte, sistema estrutural ou por algum problema. A Inspeção Especial deverá ser efetuada em intervalos máximos de cinco anos, em todas as pontes consideradas excepcionais, pelo seu porte, pelo seu sistema estrutural ou pelo seu comportamento problemático, ou sempre que julgado necessário por uma Inspeção Rotineira, em qualquer obra (Publicação IPR – 709, 2004).

- Inspeção extraordinária: é uma inspeção não programada e é efetuada quando ocorrem danos estruturais repentinos;
- Inspeção intermediária: é recomendada para monitorar uma anormalidade já suspeitada ou já detectada.

### **3.6 A técnica da termografia**

A termografia é uma técnica que possibilita a medição de temperaturas e a obtenção de imagens de um componente, equipamento ou processo a partir da radiação infravermelha que um corpo emite, em função da sua temperatura. Esta técnica não destrutiva tem tido uma rápida expansão devido às vantagens que apresenta em relação às suas limitações.

Uma das principais vantagens da termografia é ser uma metodologia de ensaio não destrutiva, bastante rápida e eficaz e que permite localizar várias anomalias numa análise geral (áreas) ao invés de outros métodos de ensaio, quer não destrutivos quer destrutivos, que apenas conseguem fazer uma análise pontual. A obtenção do resultado é instantânea, possibilitando a intervenção imediata, caso seja necessário (BARREIRA, 2004; MENDONÇA, 2013).

Não há necessidade de contato direto entre a câmara termográfica e a superfície em estudo apesar da distância ser um parâmetro a ter em conta, permitindo o estudo de superfícies de difícil acesso ou potencialmente perigosas para o equipamento e o respetivo operador.

Outra grande vantagem está relacionada com a possibilidade de efetuar ensaios noturnos, uma vez que, tratando-se de radiação infravermelha, não é necessária a presença de luz (OCAÑA, 2004). Apesar de ser uma técnica de ensaio aparentemente simples, não deve ser utilizada nem os seus resultados analisados por

pessoas sem formação e sem conhecimentos na área, sendo necessária qualificação do operador que realiza o ensaio e interpreta os resultados (BARREIRA, 2004).

A termografia por infravermelho baseia-se no fenômeno físico de que todo objeto com temperatura acima de zero absoluto ( $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), emite radiação eletromagnética em função da excitação das moléculas das quais é constituído.

Quanto maior for a temperatura maior é a excitação molecular e, conseqüentemente, maior é a intensidade da radiação emitida. Assim, a temperatura de um objeto pode ser determinada pela intensidade da radiação emitida por sua superfície, fato utilizado pela termografia para realizar medidas de temperatura e visualizar a distribuição térmica de uma determinada superfície, sem a necessidade de contato físico (SANTOS, 2012).

### **3.7 Utilização da câmera termográfica**

O que faz a termografia uma ferramenta verdadeiramente única e valiosa é principalmente a imagem. O fato de podermos ver padrões e determinar o lugar de uma anomalia é muito importante. Uma única leitura de temperatura apenas não nos dá informações suficientes. Para avaliar essas imagens utilizaremos os métodos qualitativos (comparativo) e quantitativos (medição) (Tabela 2).

Tabela 2 – Comparativo entre termografia qualitativa e quantitativa

| QUALITATIVA                    | QUANTITATIVA  |
|--------------------------------|---|
| Análise de PADRÕES na imagem   | Usada para ajudar a CLASSIFICAR a seriedade de uma anomalia |
| Descobre se há alguma anomalia | Medição de temperatura envolvida                            |
| Descobre onde ela está         | É feita compensação   |
| Temperatura aparente apenas    | Nem sempre é relevante                                      |

FONTE: ITC (2014)

A Termografia qualitativa depende da análise dos padrões térmicos para revelar a existência e localizar a posição de anomalias e avaliá-las. Utiliza-se a termografia qualitativa de forma mais ampla, pois se algo estiver visivelmente normal seguimos em frente. Se algo for suspeito deve-se parar e analisar se realmente existe algo de errado.

A termografia quantitativa usa medições de temperatura como critério para determinar a seriedade de uma anomalia, para conseguir estabelecer prioridades de reparo. Quando uma anomalia é descoberta, precisamos saber qual a seriedade da mesma. Normalmente, no momento da identificação da anomalia, não se possuem recursos suficientes para cuidar imediatamente de todo o problema que ocorre.

Dessa forma, a anomalia deve ser classificada em ordem de prioridade para o processo de manutenção e reparação. A partir do momento que aquele ponto gera uma suspeita deve ser acompanhado. Esse tipo de avaliação deve fornecer uma série de critérios rigorosos para determinar a seriedade do problema, como tipo de material e temperatura de trabalho segundo norma ou fabricante. Outros critérios incluem: carga, equipamento, criticidade, segurança e fatores ambientais tais como a velocidade dos ventos.

Muitas vezes, durante uma avaliação, o valor da temperatura não é tão importante, e a temperatura não será relevante e sim a diferença de padrão visto nas imagens.

### **3.7.1 Aplicações para monitoramento e manutenção de estruturas**

Atualmente, o uso do sensoriamento térmico e imagens térmicas para o monitoramento e manutenção preditiva, é provavelmente o mais comum de todas as aplicações dentro da termografia. De verificações pontuais periódicas das temperaturas de mancais de máquinas de rotação ou quadros elétricos até uso para programas de manutenção preditiva totalmente documentada em grandes plantas. O monitoramento das condições de funcionamento é cada vez mais utilizado com a implantação de mais equipamentos de termografia (KAPLAN, 2007).

Muitas vezes a implantação desses programas de monitoramento com equipamentos de termografia, é marcada por comportamento errático ou uso operacional incorreto do equipamento, tornando-se uma operação dispendiosa e ineficiente, o que leva ao fracasso desse tipo de serviço.

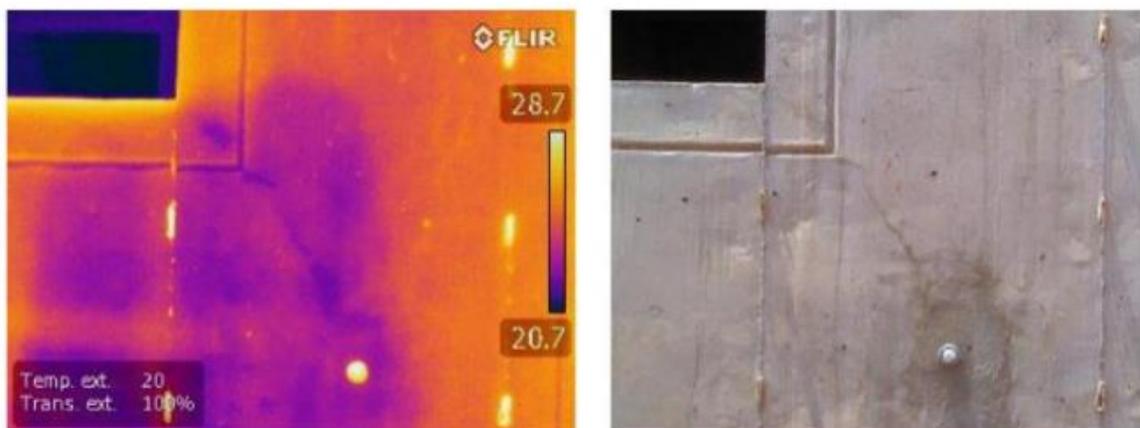
A termografia infravermelha na Engenharia Civil vem ganhando força com estudos realizados em diversas áreas da construção, como por exemplo paredes de concreto moldadas in loco.

Segundo um estudo realizado por Alves e Sousa (2014), os resultados obtidos, baseiam-se na distribuição da temperatura superficial ao longo da parede de concreto, onde sua análise só é possível devido à medição da distribuição espacial da radiação térmica, emitida pela superfície do objeto em estudo.

A análise qualitativa das fotos térmicas fundamenta-se através de imagens coloridas, as quais possibilitam a identificação de algum dano ou deformidade nas paredes de concreto.

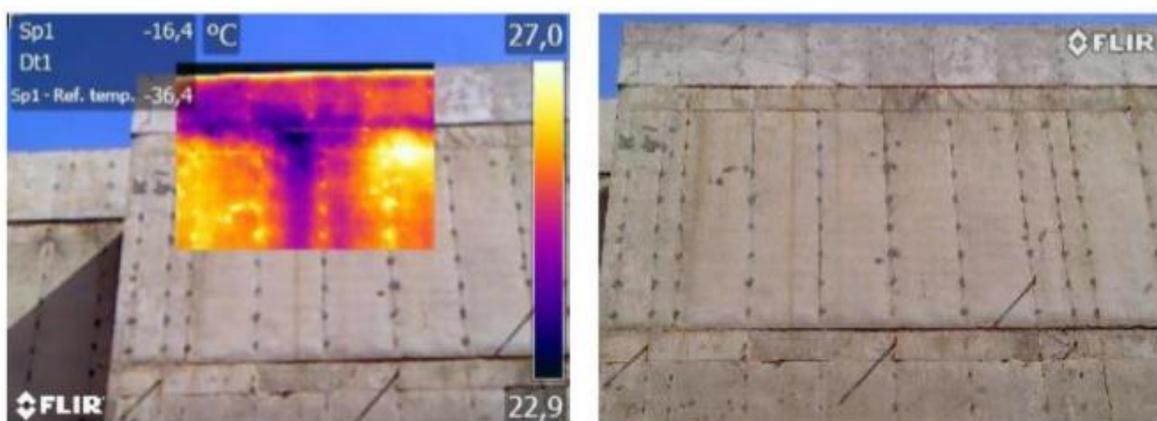
Utilizando a câmera termográfica, é possível observar falhas como fissuras e pontos de infiltração, em que a imagem aparece mais clara (indo para o tom do amarelo), onde a temperatura obtida é mais alta, e locais onde a imagem aparece mais escura (indo para o tom preto), onde a temperatura é mais baixa, conforme mostra as Figuras 4 e 5.

FIGURA 4 - Manifestação patológica na região das esquadrias (Foto térmica e fotografia)



FONTE: ALVES e SOUSA (2014)

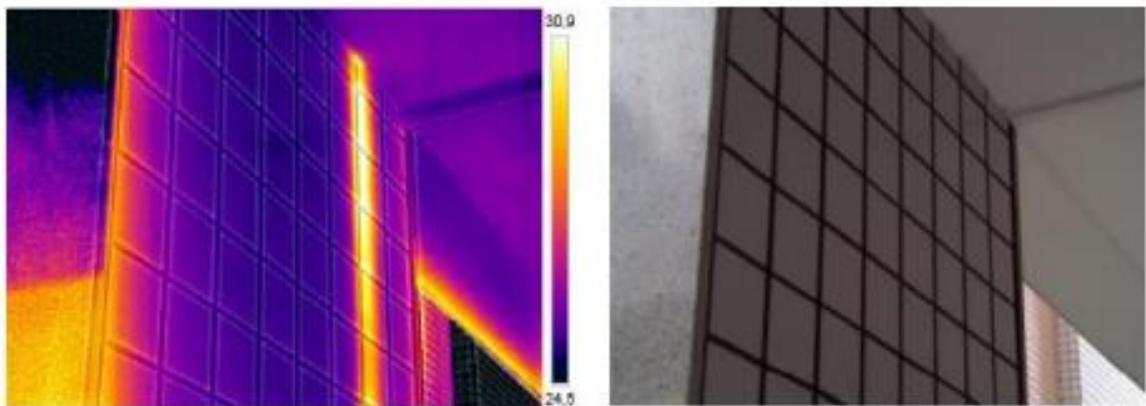
FIGURA 5 - Patologia identificada na platibanda (Foto térmica sobreposta e fotografia)



FONTE: ALVES e SOUSA (2014)

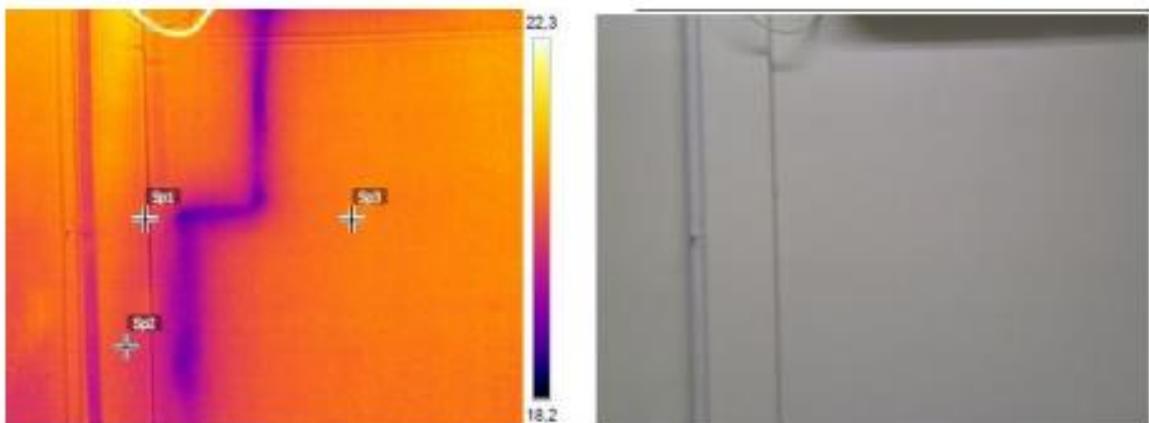
Existem diversas aplicações para a termografia na área da construção e manutenção de edifícios, como pode ser visto na Figura 6, a identificação de tubos de queda ao lado do pilar. Já a Figura 7 mostra a localização do dreno do ar condicionado dentro da alvenaria, podendo verificar que não existem vazamentos na tubulação.

FIGURA 6 – Localização de tubulação de esgoto dentro de um pilar



FONTE: KERSUL (2014)

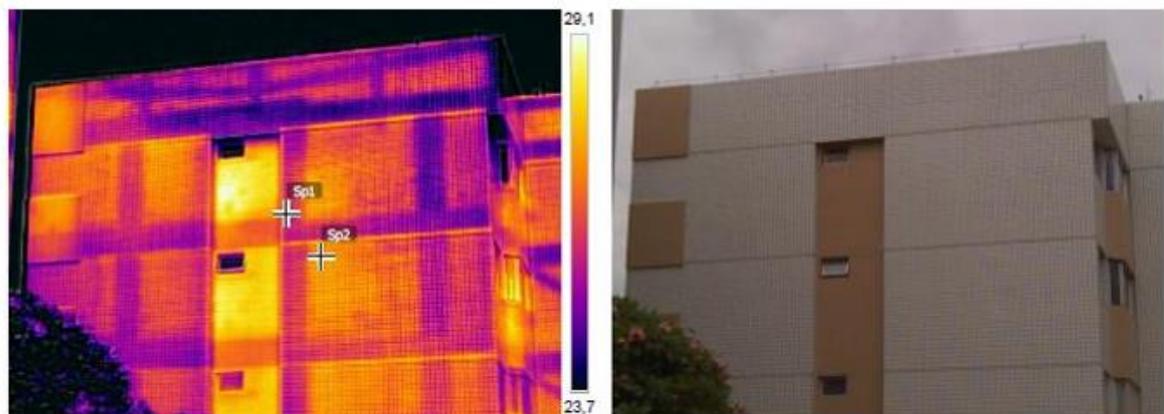
FIGURA 7 – Localização da tubulação do dreno de ar condicionado – Verificação de vazamento



FONTE: KERSUL (2014)

Com o uso da termografia também é possível localizar os elementos estruturais, como mostra a Figura 8. Essa informação é extremamente útil, principalmente quando se trata de edifícios antigos e que não possuem o projeto de estrutura.

FIGURA 8 – Localização da estrutura de edifícios



FONTE: KERSUL (2014)

#### 4 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foi utilizada a inspeção visual por meio de fotografias e imagens térmicas. Para a obtenção das imagens térmicas foi utilizada a câmera FLIR C2 (Figura 4) que é capaz de digitalizar uma área e exibir imagens com variações de temperatura. E também inclui uma câmera de luz visível para a captura de imagens visuais da cena em análise. Ou seja, esta câmera realça os detalhes de contraste térmico e como resultado final temos uma imagem térmica mostrando as características da estrutura e possibilitando a detecção de possíveis problemas.

FIGURA 9 - Câmera FLIR C2



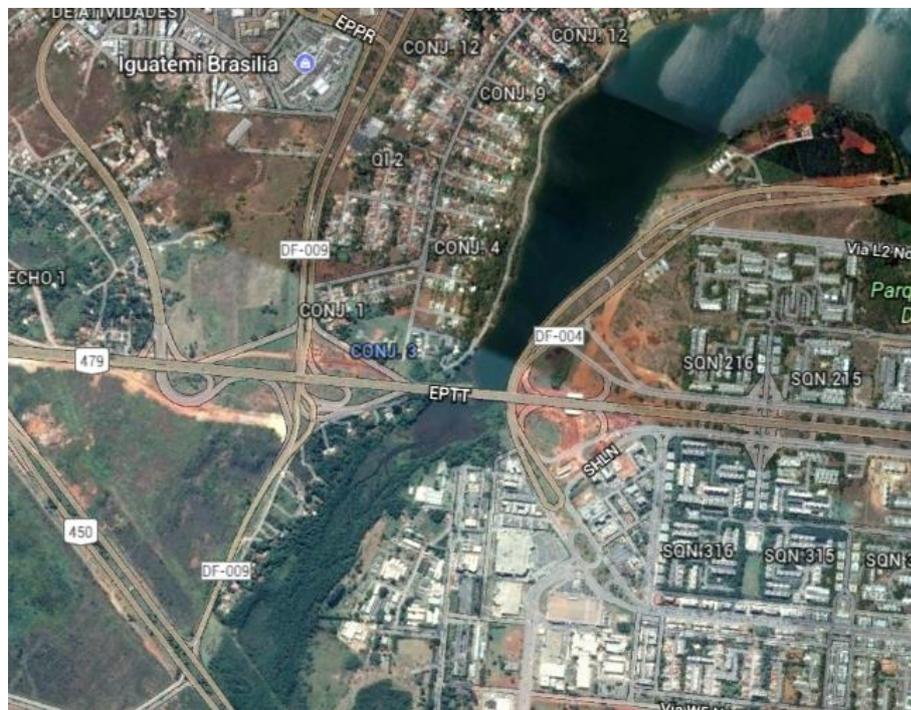
FONTE: FLIR Systems, Inc.

## 5 ESTUDO DE CASO: PONTE DO BRAGHETO

A Ponte do Braghetto ou Braghetto é uma ponte localizada em Brasília, no Distrito Federal, responsável por ligar a Asa Norte ao Lago Norte e região norte do DF. Também interliga a DF-002 (Eixo Rodoviário Norte/Sul) à DF-007 (Estrada Parque Torto) e é a única ponte sobre o lado norte do lago Paranoá. Possui cento e oitenta metros de extensão, vinte e nove metros de largura e quatro metros de altura. Foi inaugurada em junho de 1961 e recebe, em média, cerca de 100 mil veículos diariamente (LABOISSIERE, 2014). A ponte é do tipo caixão perdido, sua execução consiste na utilização de uma forma interna no formato de caixa e sua estrutura é composta por duas lajes e vigas entre elas, e toda em concreto armado.

As Figuras 10 e 11 apresentam a localização da ponte e a Figura 12 apresenta uma imagem lateral da ponte.

FIGURA 10 – Localização da Ponte do Braghetto



FONTE: GOOGLE EARTH

FIGURA 11 – Localização da Ponte do Bragueto



FONTE: GOOGLE EARTH

FIGURA 12 – Vista lateral da Ponte do Bragueto



FONTE: Autor.

Construída há 56 anos na cidade, a única ponte sobre o lado Norte do lago Paranoá está repleta de falhas e problemas na sua estrutura que podem ser vistos a distância. Local de trânsito e caos nos horários de pico, a Ponte do Bragueto liga a Asa Norte ao Lago Norte e recebe cerca de 80 mil veículos diariamente. São rachaduras, infiltrações e estruturas expostas que colocam em risco a vida de milhares de motoristas. Na parte de cima, evidência de vandalismo, como pichações e incontáveis rachaduras. Na parte de baixo do viaduto, além da infiltração, há estruturas expostas devido à falta de manutenção e quedas de blocos de concreto causadas por caminhões com limite de altura excedido.

Apesar do volume de carros que circula ali diariamente, a Ponte do Bragueto é conhecida pelas críticas condições que apresenta. Além das manifestações patológicas observadas na estrutura, ainda existem registros de acidentes que causaram danos à estrutura e que não foram reparados ou corrigidos. As Figuras 13 e 14 mostram problemas evidentes na estrutura da ponte.

FIGURA 13 – Danos causados por acidentes



FONTE: Autor

FIGURA 14 – Danos causados por acidentes



FONTE: Autor

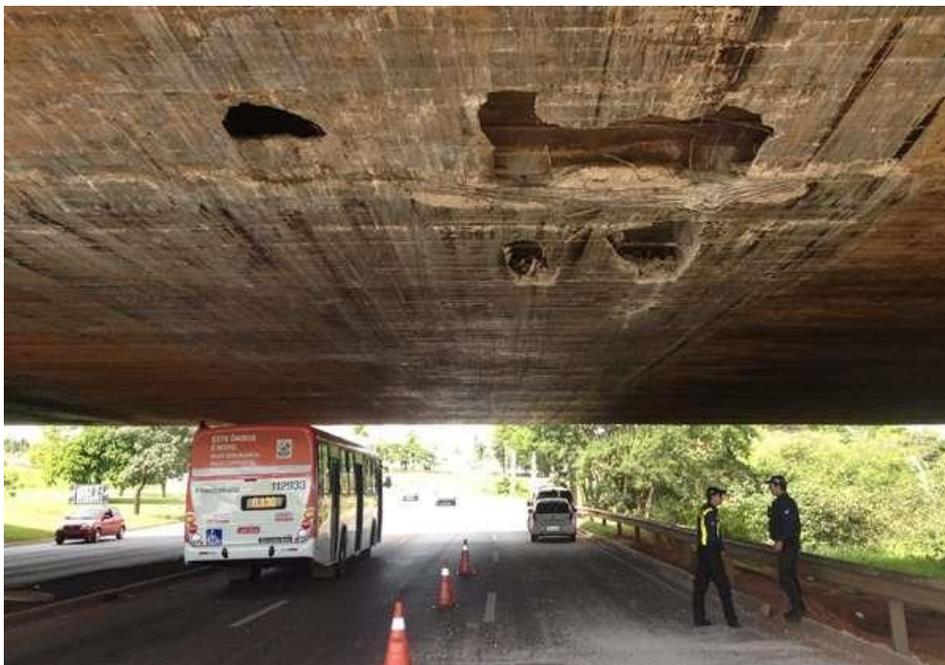
As Figuras 15 e 16 mostram os resultados de dois impactos de caminhões, ocorridos em junho de 2013 e janeiro de 2014. Nos dois incidentes, caminhões que possuíam mais de quatro metros de altura, ficaram presos embaixo da ponte e causaram danos à estrutura inferior da laje. Posteriormente, houveram outros incidentes com veículos que ultrapassavam a altura limite da ponte.

FIGURA 15 – Técnicos da Defesa Civil vistoriam buraco aberto sob a laje da Ponte do Bragueto



FONTE: Foto de Kátia Mello/G1, 2013

FIGURA 16 – Blocos de concreto caem da Ponte do Bragueto



FONTE: Correio Brasiliense, 2014

Em resumo, a degradação contínua da ponte é influenciada e agravada por diversos fatores, desde uso indevido à falta de manutenção preventiva e reparações.

O Governo do Distrito Federal deseja implodir a ponte para que uma nova seja levantada. Porém, antes disso, duas outras pontes serão construídas paralelas a ela, cada uma com três faixas.

## **6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS**

As inspeções à Ponte do Bragueto foram realizadas visualmente e com auxílio da câmara FLIR C2 e também uma câmara fotográfica Canon T5.

As inspeções visuais foram realizadas em duas etapas por se tratar de uma análise da variação de temperatura. A primeira inspeção foi feita em dois períodos do dia, buscando mostrar a diferença detectada no comportamento da estrutura no início e no final do dia, após a atuação de maiores carregamentos da estrutura. A inspeção foi realizada entre 13:30 e 14:30, horário em que a temperatura solar estava mais intensa, e a segunda inspeção foi feita no final da tarde entre 17:30 e 18:00 horas, quando o sol apresentava temperaturas menores, mas que apresentaria um efeito maior de carregamento e o efeito de insolação durante todo o dia.

As fotografias e termografias abrangem, em ambos os horários, à lateral sul da Ponte, a parte inferior das duas lajes e o passeio e pavimento da faixa referente à Estrada Parque Torto.

Os resultados da avaliação da Ponte do Bragueto foram obtidos a partir da análise das imagens térmicas associadas a teoria de manifestações patológicas do Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Com estas imagens foi possível determinar os elementos com danos por impacto, problemas nas armaduras, presença de umidade, pontos com grande variação de temperatura, pontos com mais calor ou menos calor. Estas informações possibilitaram a detecção de patologias e problemas estruturais.

### **6.1 Análise visual**

As imagens abaixo ilustram as condições da Ponte do Bragueto, registradas nas duas inspeções realizadas.

As Figuras 17, 18, 19, 20, 21, 22 e 23 apresentam alguns dos danos encontrados na parte inferior da laje, desgaste da pista de rolamento, além da presença de umidade e armaduras expostas.

- **Fachada:**

As vigas laterais da fachada (Figura 17) apresentam manchas escuras, que aparecem em toda a ponte, e predominam a presença de fissuras.

FIGURA 17 – Fachada Sul da Ponte do Bragueto



FONTE: Autor

- **Pilares:**

As Figuras 18 e 19 mostram os pilares da ponte apresentam pequenos danos, manchas escuras e exposição da armadura.

FIGURA 18 – Pilares em contato com o Lago Paranoá



FONTE: Autor

FIGURA 19 – Pilares da Ponte do Bragueto



FONTE: Autor

- **Parte inferior da laje:**

As Figuras 20 e 21 mostram que a parte inferior da superestrutura da ponte apresenta vários danos, deslocamento do concreto, manchas escuras e exposição da armadura.

FIGURA 20 – Dano na parte inferior da laje



FONTE: Autor

As Figuras 20 e 21 ilustram os danos causados pelos acidentes com caminhões citados no estudo de caso.

FIGURA 21 – Danos na parte inferior da laje



FONTE: Autor

- **Encontros da ponte**

A Figura 22 mostra que os encontros da ponte apresentam danos e deslocamento do concreto.

FIGURA 22 – Danos na parte inferior da laje



FONTE: Autor

- **Pista de rolamento**

A Figura 23 mostra que a pista da ponte apresenta muitas fissuras com aberturas bem extensas ao longo de toda sua extensão, que podem ter acontecido pela falta da laje de transição do aterro para a superestrutura.

FIGURA 23 – Fissuras no pavimento



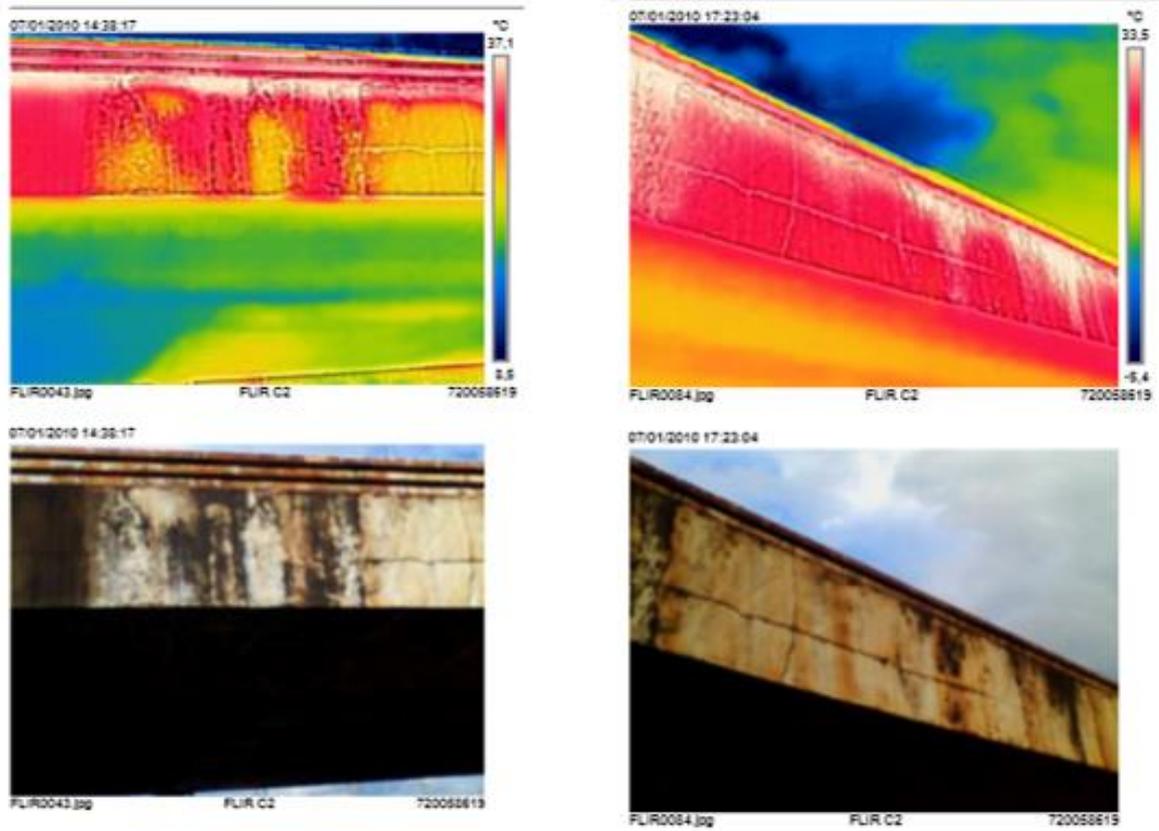
FONTE: Autor

## 6.2 Análise termográfica das manifestações patológicas

No intuito de verificar as manifestações patológicas, aparentes ou não, utilizou-se a análise termográfica nas áreas com suspeita de anormalidades. Após esta inspeção visual, as imagens térmicas foram capturadas para que adicionassem informações e mostrassem alguns dos problemas que a estrutura vem sofrendo.

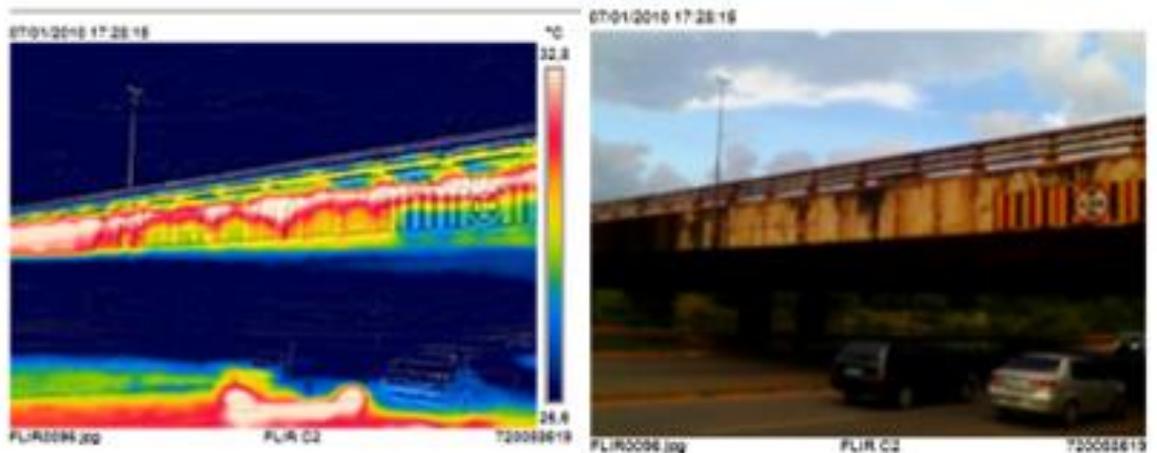
- **Fachada:**

- FIGURA 24 – Fachada em dois horários diferentes



FONTE: Autor

FIGURA 25 – Fachada Sul no final da tarde



FONTE: Autor

Na Figura 24, do lado direito está a imagem tirada no final da tarde e do lado esquerdo a imagem tirada no começo da tarde. É possível observar que a termografia evidenciou uma diferença de temperatura entre os pontos que apresentam patologias como infiltração e manchas na estrutura, no qual os pontos com fissura e presença de água, apresentam temperatura mais elevada.

Pode-se observar, também, que no horário mais quente, a viga apresentou variações significativas no aumento de temperatura, no horário referente ao início da tarde (Figura 25), a viga já apresenta temperatura mais homogênea.

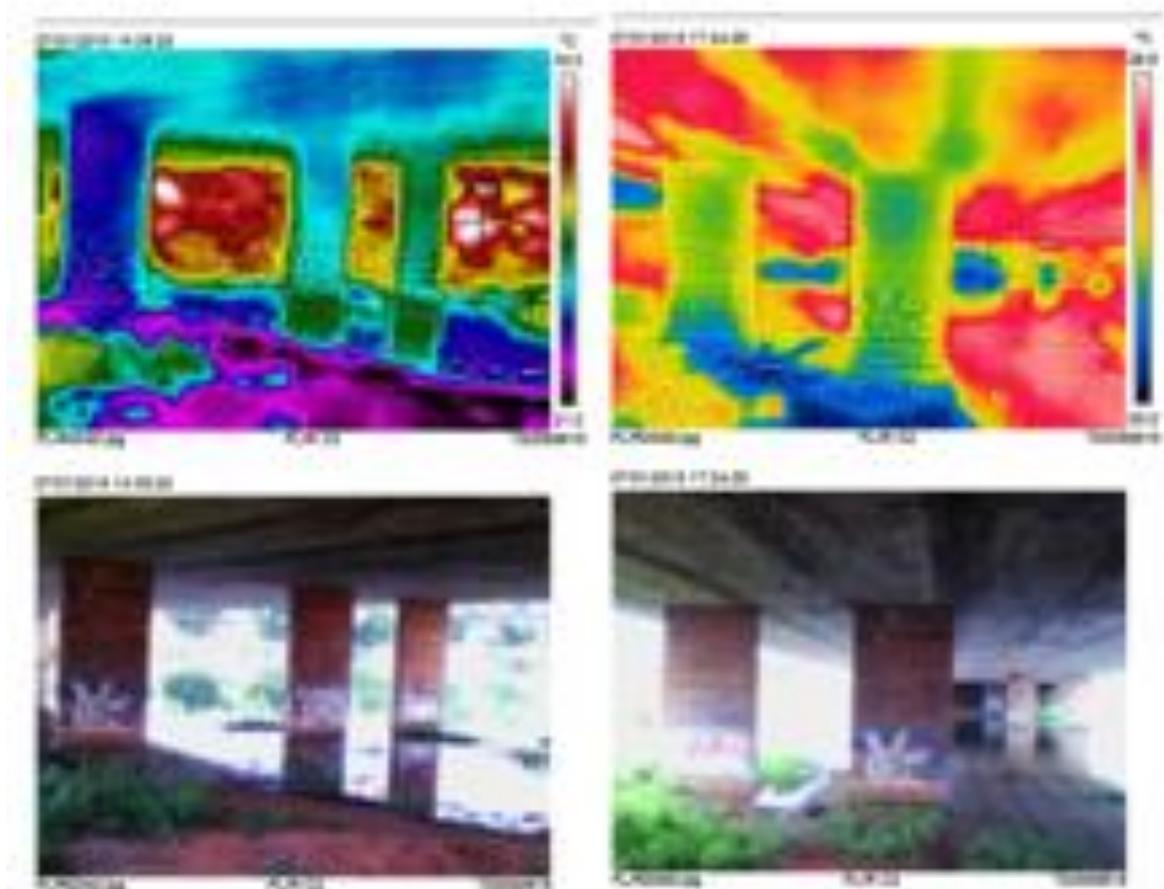
As manchas escuras presentes na fachada podem ser consequência da falta de um projeto de drenagem da água da chuva. E, também, devido a proximidade com o lago, a estrutura recebe bastante umidade.

- **Pilares:**

No caso dos pilares (Figuras 26 e 27) pode-se observar, também, que no horário mais quente, e depois de um uso mais significativo da estrutura, que esteve

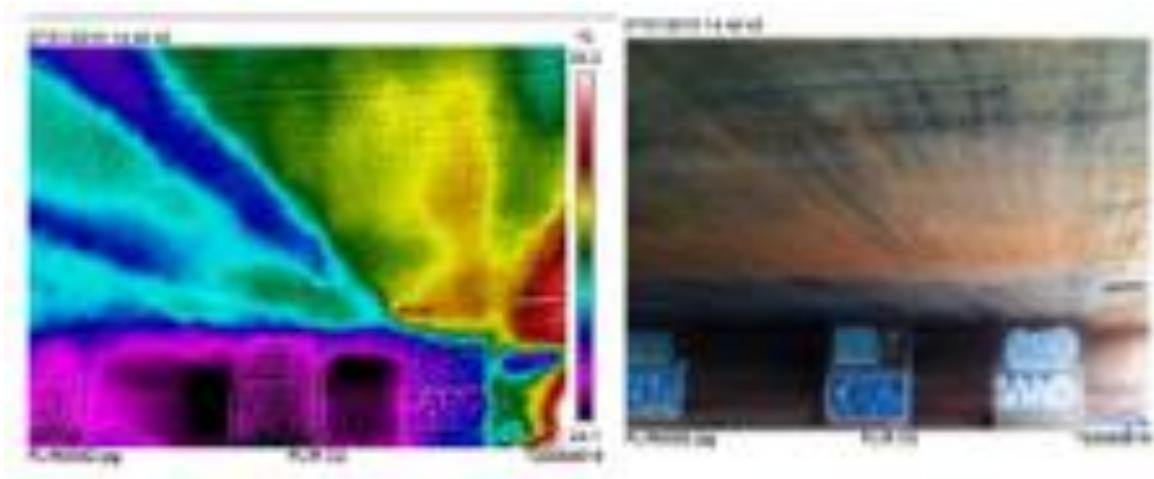
submetida a carregamentos ao longo do dia, os pilares apresentaram variações significativas aumento de temperatura, no horário referente ao início da tarde, mas mesmos apresentaram variações de temperatura mais homogênea.

FIGURA 26 – Pilares da Ponte do Brageto



FONTE: Autor

FIGURA 27 – Pilares da Ponte do Bragueto

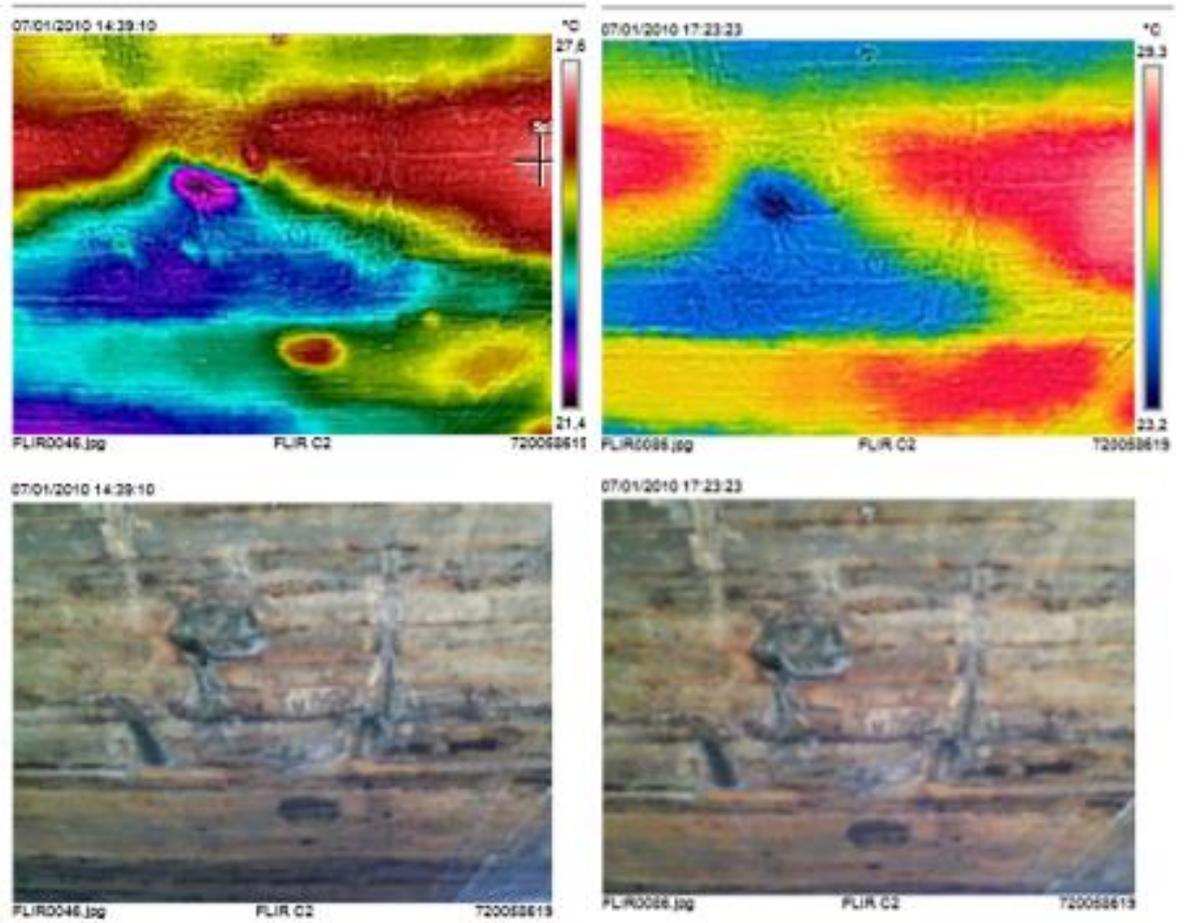


FONTE: Autor

- **Laje Inferior:**

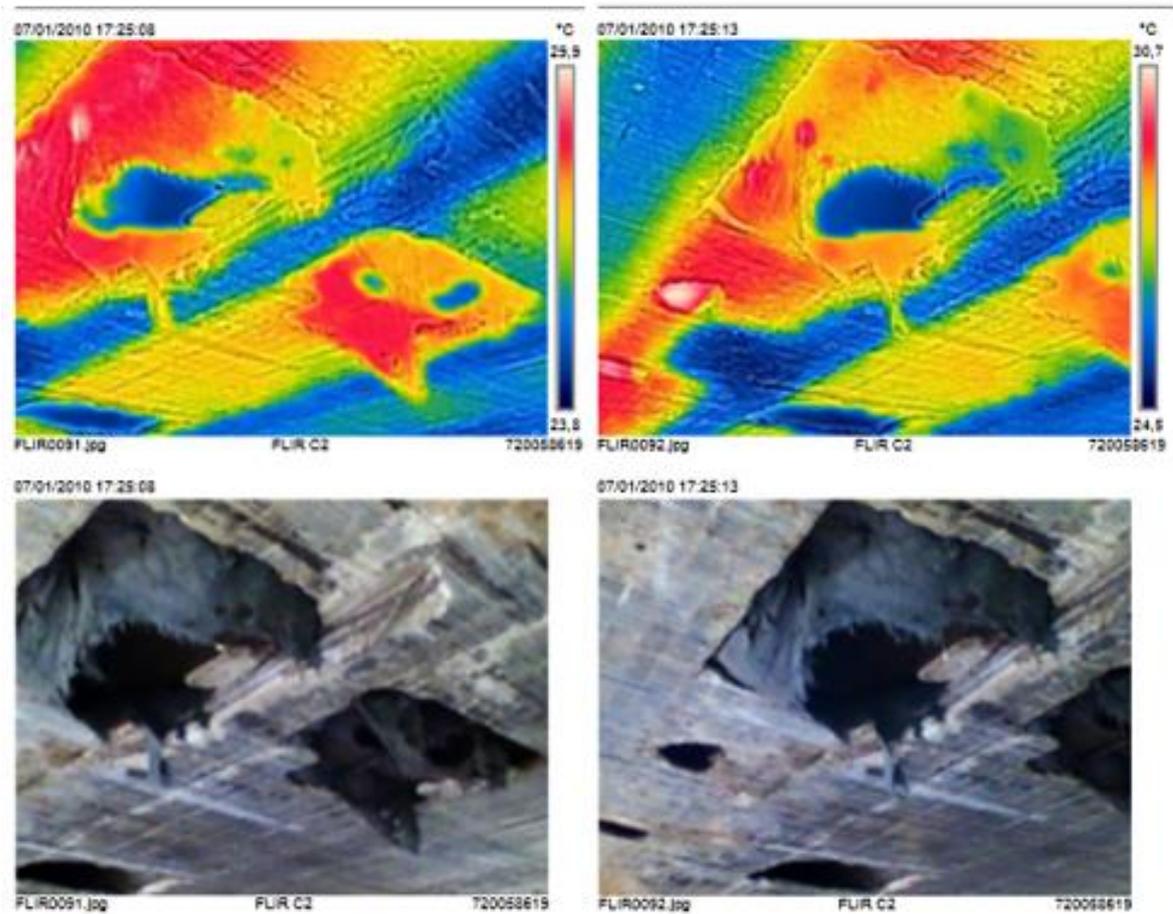
Na Figura 28 podemos observar nos dois horários uma faixa que está em temperatura mais alta. Há também armaduras expostas que apresentam temperatura mais baixa e um dano na laje que é o ponto mais frio da imagem, por isso, podemos concluir que nesse ponto está havendo fluxo de ar, da parte interna para a parte externa da ponte.

FIGURA 28 – Parte inferior da laje



FONTE: Autor

FIGURA 29 – Danos na parte inferior da laje



FONTE: Autor

A Figura 29 ilustra o maior dano da Ponte, que independentemente dos horários apresenta altas temperaturas no geotêxtil pendurado e o ponto com menos calor é no centro do buraco, onde existe fluxo de ar.

Podemos observar que alteração na temperatura é bem significativa no final do dia nas partes mais solicitadas da estrutura.

## 7 CONCLUSÕES

Com os resultados apresentados neste trabalho pode-se concluir que a termografia é uma ferramenta de monitoramento muito utilizada em manutenções prediais e pode contribuir consideravelmente para a identificação de pequenas anomalias patológicas de grandes estruturas, como a presença de manchas, de fissuras e alteração de temperatura em locais de grandes solicitações.

Desta forma, é possível observar as alterações de temperatura nestas patologias típicas ao longo do dia devido ao carregamento, podendo mostrar grandes solicitações nas partes constituintes da ponte e mostrando pontos que devem ser observados com mais detalhes como ensaios e análises mais detalhadas.

Os danos predominantes que podem ser observados por esse tipo de análise seriam apenas danos mais superficiais como as manchas escuras, trincas e a presença de umidade. Para conclusões mais aprofundadas sobre o desempenho estrutural seria necessário realizar ensaios mais detalhados, análises experimentais e numéricas para conclusões sobre a necessidade de reparação e reforços estrutural.

A termografia como método de inspeção pode ajudar nas etapas de projeto, identificando onde há maior incidência do sol e a partir dessa inspeção escolher materiais de revestimento que terão uma durabilidade maior, evitando que as patologias apareçam ou se espalhem de forma rápida.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118/2014: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho. Parte 1. Rio de Janeiro. 2013.

\_\_\_\_\_. Impermeabilização - Seleção e projeto. NBR 9575:2010.

\_\_\_\_\_. Vistorias de pontes e viadutos de concreto - Procedimento. NBR 9452:1986.

ALVES, NIELSEN E SOUZA, JULLYANA. "A análise de manifestações patológicas em paredes de concreto moldadas in loco utilizando a termografia como ensaio não destrutivo" - 1º Congresso Brasileiro de Patologia das Construções. 2014

BARREIRA, E. Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrotérmico dos Edifícios. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.

BEZERRA, L.A., LIMAR, R.C.F., LYRA, P.R.M., ARAÚJO, M.C., SANTOS, F.G.C., BEZERRA, K.M. Uma comparação entre temperaturas de mamas obtidas pelo método dos volumes finitos em malhas não estruturadas e aquelas adquiridas através de termogramas de pacientes de hospital público localizado em clima tropical. Congresso Ibero-americano de engenharia mecânica. In: 8º Congresso Ibero-americano De Engenharia Mecânica, 8. Cuzco. Peru, 2007.

CARVALHO, Roberto Chust. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014 / Roberto Chust Carvalho, Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho. 4.ed. São Paulo, EdUFSCAR, 2016.

CAVET, D. G.; RODRIGUES, G. L.; JASINSKI, M. E. F.; NETTO, S. C. Análise de segurança e durabilidade em viadutos por meio de vistorias. Estudo de caso do viaduto colorado, Curitiba-PR. Curitiba, 2010. Trabalho de Conclusão de Pós Graduação lato sensu - Instituto IDD.

CHIAVERINI, Vicente. Tecnologia Mecânica. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

CHOLFE, Luiz. Concreto protendido: teoria e prática / Luiz Cholfe, Luciana Bonilha. 2.ed. São Paulo : Pini, 2015.

CONCRETO: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Concreto e Construções. IBRACON, Instituto Brasileiro de Concreto. São Paulo 2009. n. 53, p. 14, mar. 2009.

Correio Brasiliense, Blocos de concreto desabam na parte de baixo da Ponte do Bragueto. 2014. Disponível em: <  
[http://www.correiobrasiliense.com.br/app/noticia/cidades/2014/01/13/interna\\_cidades\\_df,407580/blocos-de-concreto-desabam-da-parte-de-baixo-da-ponte-do-bragueto.shtml](http://www.correiobrasiliense.com.br/app/noticia/cidades/2014/01/13/interna_cidades_df,407580/blocos-de-concreto-desabam-da-parte-de-baixo-da-ponte-do-bragueto.shtml) | > Acesso em: 27/04/17.

DESTRO, K. Análise patológica das estruturas de duas pontes do Rio Cachoeira. Joinville, 2011. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade do Estado de Santa Catarina.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO.

Instrução de Projeto - Projeto de recuperação, reforço e alargamento de obra de arte especial. IP-DE-C00/011. São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Manual de Inspeção de Obras-de-Arte Especiais. Rio de Janeiro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. Tratamento de trincas e fissuras – Especificação de serviço - Procedimento. NORMA DNIT 083/2006 - ES. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento. NORMA DNIT 010/2004 - PRO. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias. IPR, Publicação 709. Rio de Janeiro, 2004.

FLIR Systems, Inc. FLIR C2. América Latina, Sorocaba – SP, 2014. Disponível em: <[https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/BLD\\_008/BLD\\_008\\_PT.pdf](https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/BLD_008/BLD_008_PT.pdf)>. Acesso em: 27/04/17.

G1, Batida de caminhão abre buraco sob a Ponte do Bragueto, no DF. 2013. Disponível em: <http://g1.globo.com/distrito-federal/noticia/2013/06/batida-de-caminhao-abre-buraco-sob-ponte-do-bragueto-no-df.html> Acesso em: 27 de abril de 2017

GESTEIRA MARTINS, T., Reforço de vigas de concreto armado por meio de cabos externos protendidos, São Paulo, 2001.

HELENE, P. R. L. A Nova NB 1/2003 (NBR 6118) e a Vida Útil das Estruturas de Concreto. Porto Alegre, 2004. Trabalho apresentado durante o II Seminário de

Patologia das Edificações do Leme/UFRGS.

INFRARED TRAINING CENTER – ITC – Manual do usuário – Certificação Nível 1 – 2014

KAPLAN, H.; “Practical Applications of Infrared Thermal Sensing and Imaging Equipment”; 3a Edition SPIE Press Vol. TT34, 2007.

KERSUL, Guilherme Marques. Uso da termografia para inspeções e manutenção predial – Estudo de caso. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Civil do UniCEUB. Brasília – DF, 2014.

LABOISSIERE, Mariana. Obras na Ponte do Bragueto vão custar R\$ 80 milhões e começam em 15 dias. Correio Brasiliense. 2014. Disponível em: <[http://www.correiobrasiliense.com.br/app/noticia/cidades/2014/05/17/interna\\_cidade\\_sdf,427983/obras-na-ponte-do-bragueto-va-custar-r-80-milhoes-e-comecam-em-15-dias.shtml](http://www.correiobrasiliense.com.br/app/noticia/cidades/2014/05/17/interna_cidade_sdf,427983/obras-na-ponte-do-bragueto-va-custar-r-80-milhoes-e-comecam-em-15-dias.shtml)>. Acesso em: 27/04/17.

LEMOS, K. B. Q. Manutenção e Reabilitação de Túneis. Brasília, 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília.

LOURENÇO, L. C.; ALVES, V. R.; JORDY, J. C.; MENDES, L. C.; LOURENÇO, M. V. C. Parâmetros de Avaliação de Patologias em Obras-de-Arte Especiais. Disponível em: [http://www.civil.uminho.pt/revista/n34/Pag\\_5-14.pdf](http://www.civil.uminho.pt/revista/n34/Pag_5-14.pdf). Acesso em: 27 de abril de 2017.

MARCHETTI, Osvaldemar, 2008. Pontes de concreto armado. 1 Reimpressão 2009. Editora Blucher.

MENDONÇA, L., AMARAL, M., CATARINO, P. A termografia por infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspeção e manutenção dos edifícios. Jornadas de Engenharia de

Manutenção. ISEL, 2013.

OCAÑA, S., GUERREIRO, I., REQUENA, I. Thermographic survey of two rural buildings in Spain. *Energy and Buildings*, vol. 36, 2004, p. 515–523, Elsevier.

PFEIL, Walter, 1979. Pontes em concreto armado: Elementos de Projetos, solicitações, dimensionamentos. Livros técnicos científicos editora S.A. Rio de Janeiro.

REIS, A. P. A. Reforço de vigas de concreto armado por meio de barras de aço adicionais ou chapas de aço e argamassa de alto desempenho. Dissertação (mestrado em engenharia de estruturas) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos: 1998. 239 p.

SANTOS, M. R. G. Deterioração das estruturas de concreto armado. Monografia (Graduação). UFMG, Belo Horizonte, 2012.

SARTORTI, A. L. Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas-SP. Campinas, 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas.

SCHIJVE, Jaap. *Fatigue of structures and materials*. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001.

SILVA, F. B. Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. *Revista Techne*. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenhariacivil/174/patologia-das-construcoes-uma-especialidade-na-engenharia-civil-228489-1.asp>>. Acesso em: 26 de abril de 2017.

SOUZA, R. A. Análise de fraturamento em estruturas de concreto utilizando

programas de análise estrutural. Campinas, 2001. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas.

SOUZA, V.; RIPPER, T. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. – São Paulo: Pini, 1998.

TEJEDOR, Cristina Mayán. Patologias, recuperação e reforço com protensão externa em estruturas de pontes. 2013. Monografia (Graduação) – Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ, 2013.

VALENZUELA SAAVEDRA, M. A., 2010, Refuerzo de puentes existentes por cambio de esquema estático, Barcelona, UPC.

VITÓRIO, A. Manutenção e Gestão de Obras de Arte Especiais. Recife, 2005. Trabalho apresentado durante o VII Encontro Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Construtiva - VII ENAENCO.