



Proposta de um Manual de Inspeções de Obras de Arte Especiais Metálicas

Jordana F. Vieira¹, Myrelle Y. F. Câmara², Bruno E. Sobrinho³, Patrícia C. S. Silva⁴, Cíntia A. A. L. Anhaia⁵, Talita E. P. Silva⁶, Jorge M. Sarkis⁷, Aymoré V. Pinto Júnior⁸

^{1,3,4,5,6} ENGEFOTO/Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT/CGPLAN/jordanavieira@engefoto.com.br/
brunosobrinho@engefoto.com.br/ patriciasilva@engefoto.com.br/ cintializ@engefoto.com.br/talitasilva@engefoto.com.br

^{2,7} STRATA/Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT/CGPLAN/myrelle.camara@strata.com.br /
jorge.sarkis@strata.com.br

⁸ Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT / CGPLAN / aymore.vaz@dnit.gov.br

Resumo

As Obras de Arte Especiais (OAE) são estruturas que requerem um projeto específico devido as suas proporções e características peculiares. A fim de obter um diagnóstico dessas estruturas, são realizadas inspeções que coletam dados necessários e indicam as suas condições de estabilidade, funcionalidade e durabilidade essenciais para definir o grau de deterioração da OAE. Nesse contexto, são consultados padrões normativos capazes de classificar a estrutura de acordo com o seu estado atual de conservação. Quando se trata de estruturas de concreto, o procedimento para inspeções de pontes, viadutos e passarelas está descrito na norma brasileira ABNT NBR 9452 (2019). No entanto, há uma dificuldade maior de encontrar manuais e normas voltados a estruturas metálicas que orientam sobre essas inspeções. Desta forma, o objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de um manual de inspeções de pontes metálicas, baseando-se nos critérios dispostos na prescrição normativa da ABNT NBR 9452 (2019), porém voltada às estruturas de aço. Para tanto, utilizou-se uma busca nas literaturas nacionais e internacionais sobre o assunto, contemplando os principais tipos de sistemas estruturais metálicos e suas manifestações patológicas mais recorrentes. Após esse levantamento foram apresentadas as classificações de cada patologia, de acordo com seu grau de deterioração para cada elemento componente da estrutura. Por fim, definiu-se os critérios fundamentais para inspecionar uma OAE de estrutura metálica, sendo capaz de indicar a condição da estrutura a partir dos parâmetros descritos neste trabalho.

Palavras-chave: Obras de Arte Especiais; Estruturas Metálicas; Inspeções; Métodos de Inspeção.

Abstract

Special Engineering Structures (OAE) are structures that require a specific design due to their peculiar proportions and characteristics. To obtain a diagnosis of these structures, inspections are performed that collect necessary data and indicate their stability, functionality and durability conditions essential to define the degree of deterioration of the OAE. In this context, normative standards are consulted that can classify the structure according to its current state of conservation. When it comes to concrete structures, the procedure for inspecting bridges, viaducts and walkways is described in Brazilian standard ABNT NBR 9452 (2019). However, there is a greater difficulty in finding manuals and standards for steel structures that guide these inspections. Thus, the objective of this work is to present a proposal for a manual of steel bridge inspections, based on the criteria laid down in the ABNT NBR 9452 (2019) normative prescription, but focused on steel structures. To this end, we searched the national and international literature on the subject, contemplating the main types of steel structural systems and their most recurrent pathological manifestations. After this survey, the classifications of each pathology were presented according to their degree of deterioration for each component element of the structure. Finally, we defined the fundamental criteria for inspecting a steel structure OAE, being able to indicate the structure condition from the parameters described in this paper.

Keywords: Special Engineering Structures (OAE); steel structures; Inspections; Inspections Methods.

Introdução

As obras de arte especiais (OAE) são estruturas que requerem um projeto específico devido às suas proporções e características peculiares e podem ser classificadas como pontes, viadutos, passagens de pedestres, entre outras denominações. São estruturas que necessitam de um diagnóstico periódico, com o intuito de manter a sua integridade estrutural e proporcionar aos seus usuários conforto e segurança. No que diz respeito às obras de arte especiais metálicas, estas destacam-se devido às vantagens do material perante os outros materiais disponíveis, como a versatilidade, leveza, facilidade de montagem, durabilidade e resistência. Em razão disso, obras de arte metálicas podem ser mais esbeltas quando comparadas com as obras em concreto armado e podem vencer maiores vãos, garantindo segurança necessária.

Os elementos componentes de uma ponte podem ser classificados quanto à superestrutura, à mesoestrutura e à infraestrutura. Mesmo em obras metálicas, os pilares e encontros são, no geral, em concreto armado, assim, a classificação do uso de componentes metálicos a estas estruturas define-se através dos sistemas estruturais utilizados na superestrutura. Desta forma, destacam-se as vigas de perfis de alma cheia, vigas caixão, treliças, vigas mistas, arcos, pórticos, estaiadas e pênseis (VITÓRIO, 2015).

Para os diversos tipos de estruturas metálicas, definidas através dos sistemas estruturais da superestrutura, entende-se que necessariamente é preciso definir padrões, que conceitualmente determinam critérios e ações necessárias para identificar e manter a conservação destas estruturas. A realização de uma inspeção periódica nos elementos componentes é essencial para o controle da condição estrutural e de conservação da OAE, ao longo da sua vida útil. Neste contexto, são consultados padrões normativos capazes de classificar a estrutura de acordo com o seu estado atual de conservação. As inspeções em pontes metálicas e mistas no Brasil são oriundas de incertezas devido à falta de padrões que orientam e definem o grau de deterioração dos elementos metálicos, diferentemente das estruturas de concreto, o qual tem-se a ABNT NBR 9452 (ABNT, 2019) como uma prescrição normativa.

Portanto, o objetivo deste trabalho é apresentar diretrizes para inspeções de pontes metálicas apresentadas em trabalhos já publicados, a fim de reunir o maior número de informações quanto a classificação de danos e critérios para notas técnicas dos elementos destas OAEs. Uma busca nas literaturas nacionais e internacionais sobre o assunto foi realizada, contemplando os principais tipos de sistemas estruturais metálicos e os danos mais recorrentes encontrados. Após esse levantamento, apresentou-se as classificações de não conformidade para cada padrão de inspeção encontrado, de acordo com o estado para cada elemento componente da estrutura.

Classificação dos elementos componentes

Estruturas metálicas são estruturas formadas por associação de peças metálicas ligadas entre si por meio de conectores ou solda. São estruturas que possuem sua seção transversal limitada devido a capacidade dos laminadores, bem como também seus comprimentos, em função dos transportes disponíveis. As pontes metálicas, assim como as pontes em concreto armado, possuem os elementos constituintes classificados em superestrutura, mesoestrutura, infraestrutura e encontros.

Quando se trata do tabuleiro, elemento componente da superestrutura, entende-se que este recebe as solicitações oriundas das ações móveis do tráfego na OAE. Outro fator importante é a sua influência no sistema global da obra, pois também é responsável pela boa distribuição dos esforços para os apoios principais, no caso, os pilares (GIMSING, 198 apud TORNARI, 2002). A outra parcela da superestrutura compõe a parte da estrutura de uma ponte situada acima dos apoios, a qual recebe os primeiros carregamentos advindos do tabuleiro, que por sua vez, estes recebem diretamente as cargas de utilização das pontes. Segundo o Manual de Construção em Aço - Pontes e Viadutos em Vigas Mista, do Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), a escolha da superestrutura de uma ponte ou viaduto depende de fatores como a função estrutural, topográfica local, natureza do solo, extensão e vão livre necessários, gabaritos a serem obedecidos, estética, acessos, localização, tempo de execução previsto e custos disponíveis para a obra. Assim, dentro dos diversos fatores, uma série de concepções estruturais a serem usadas como superestruturas no projeto de uma ponte ou viaduto são dadas como as vigas de alma cheia, treliças metálicas, vigas caixão metálicas, pórticos planos, arcos metálicos, vigas mistas e vigas suspensas por cabos.

Apresentados os elementos constituintes das pontes metálicas, é possível classificar a partir das recomendações da norma ABNT NBR 9452 (ABNT, 2019), os elementos em três categorias, considerando a sua relevância na segurança estrutural. Dentro de cada classificação dos elementos constituintes da estrutura, é possível definir a categoria para cada elemento. Assim, como exemplo, dentro de um tipo de superestrutura, há elementos considerados como principais, secundários e complementares. A partir disso, com a classificação dos elementos constituintes é possível definir para cada tipo de sistema estrutural os elementos que são classificados como principais, secundários e complementares. Na Tabela 1 pode-se identificar os principais elementos constituintes de estruturas metálicas ligadas a Obras de Arte Especiais e a sua proposta de classificação de acordo com sua relevância na segurança estrutural.

Elemento			Sistema estrutural							
			Vigas de perfis de alma cheia	Caixão	Treliças	Mista	Arco	Pórtico	Estaiadas	Pênseis
Superestrutura	Viga	Longarina	P	-	-	P	-	-	-	P
		Transversina portante	P	-	-	P	-	P	-	-
		Transversina de ligação	S	-	-	S	-	S	-	-
	Tabuleiro metálico Grelha Plana	Longarina	P	P	P	P	P	P	P	P
		Transversina	P	P	P	P	P	P	P	P
		Contraventamento	S	S	S	S	S	S	S	S
	Contraventamentos	Contraventamento inferior	-	-	P	-	P	P	-	-
		Contraventamento superior	-	-	P	-	P	P	-	-
		Contraventamento diagonal	-	P	P	-	P	P	-	-
	Caixão metálico		-	P	-	-	-	-	-	-
	Cabos	Principais	-	-	-	-	-	-	P	P
		Secundários	-	-	-	-	-	-	-	S
	Arco		-	-	-	-	P	-	-	-
	Pendurais		-	-	-	-	P	-	-	-
	Laje de concreto armado		P	P	P	P	P	P	P	P
	Mesoestrutura	Travessas		P	P	P	P	-	-	P
Pilares		P	P	P	P	-	P	-	-	
Aparelho de apoio		P	P	P	P	P	-	P	P	
Contraventamentos		S	S	S	S	S	S	S	S	
Torres		-	-	-	-	-	-	P	P	
Encontros	Cortina		S	S	S	S	S	S	S	S
	Laje de transição		S	S	S	S	S	S	S	S
	Muros de ala		S	S	S	S	S	S	S	S
Infraestrutura	Blocos		P	P	P	P	P	P	P	P
	Sapatas		P	P	P	P	P	P	P	P
	Estacas, tubulões		P	P	P	P	P	P	P	P
Complementares	Barreira rígida		C	C	C	C	C	C	C	C
	Guarda-corpo		C	C	C	C	C	C	C	C
Conectores	Soldados		P	P	P	P	P	P	P	P
	Parafusados		P	P	P	P	P	P	P	P

Figura 1 - Classificação dos elementos componentes dos sistemas estruturais metálicos de acordo com a sua importância estrutural (Adaptado de NBR 9452 [ABNT, 2019])

Inspeções em estruturas metálicas

Inspeções são atividades técnicas especializadas realizadas numa obra de arte especial e tem como objetivo a coleta de dados dos elementos, do projeto e de construção. Além disso, numa inspeção visual é realizado o

exame minucioso da estrutura e possui como produto a elaboração de relatórios, a avaliação do estado da obra e as recomendações, podendo ser uma nova vistoria, ou obras de manutenção, obras de recuperação, reforço ou de reabilitação (DNIT, 2004a).

As inspeções rotineiras possuem um caráter cíclico e frequente, compreendendo o levantamento das necessidades de trabalhos de manutenção e reparação corrente e o acompanhamento simplificado da obra de arte. Pereira (2018) afirma que através da inspeção rotineira, poderá identifica-se a necessidade de inspeções especiais, bem como o registro de alertas de segurança da circulação. Em outros casos, na inspeção de rotina detecta-se as principais anomalias indicadas no último relatório realizado e com isso o registro de novas anomalias relevantes. De acordo com o Manual de Inspeções Rodoviárias do DNIT (DNIT, 2004b), as inspeções rotineiras ocorrem em geral, na frequência de um a dois anos, ou seja, com intervalos programados e as informações ficam registradas por meio de documento fotográfico e de relatório com os dados do cadastro da OAE e sobre as patologias encontrado

Obras de arte especiais em aço são inspecionadas com o objetivo de identificar danos que possam estar presentes na estrutura. A partir de uma inspeção, deve-se também indicar causas que levam aos defeitos que provavelmente afetam a resistência e a segurança. Um inspetor, ao realizar uma inspeção em uma estrutura de aço, deve ter um bom entendimento da OAE a ser inspecionada, além disso, consultar fonte de dados antes de iniciar uma inspeção (NZTA, 2001).

As fontes de dados mais usuais indicadas por NZTA (2001) são as plantas e desenhos do projeto, arquivos com fotos e histórico de inspeções anteriores, cálculos de resistência e classificação de carga estática ou cíclica, quando disponíveis. Além disso, uma inspeção visual cobrirá sistematicamente toda a superfície visível da estrutura de aço, atentando as áreas com altas solicitações de tensão, com poucos detalhes, pelas que sofrem com reversão de tensão e por regiões que contém danos identificados na inspeção anterior.

Equipamentos, ferramentas e segurança nas inspeções

Em obras de arte é necessário o uso de equipamentos e ferramentas que auxiliam no processo de inspeção, principalmente em locais de difícil acesso. Alguns materiais são citados por (RIBEIRO, 2014) e permitem a aproximação dos locais a serem inspecionados. No caso de inspeções metálicas, assim como nas de concreto, equipamentos como escadas, andaimes caminhões com plataforma, treliças moveis, guindastes, barcos ou flutuantes são equipamentos comuns a serem utilizados.

Pereira (2018) afirma que uma maneira de melhorar o acesso à atividade de inspeção é a construção ou instalação de plataformas metálicas, fixadas na região inferior da superestrutura, possibilitando realizar vistorias sem a necessidade de interdição de faixas, de rolamentos, alugueis e mobilização de equipamentos especiais. Neste sistema, as inspeções em estruturas metálicas tornam-se mais completas, pois permite inspecionar elementos estruturais de difícil acesso e assim, realizar os trabalhos de manutenções periódicas, como por exemplo de pintura e tratamento de corrosões dos elementos estruturais metálicos. Algumas ferramentas mais correntes para inspeção podem ser a máquina fotográfica, régua, medidor de fissuras, martelo, entre outras medidas que são suficientes para a caracterização das anomalias.

No caso de inspeções visuais, o inspetor desconhece as propriedades mecânicas dos materiais estruturais apenas com a visita in situ à obra de arte. Assim, complementando a análise, a consulta em projetos finais da obra é essencial para um resultado eficaz. Porém, comumente o acesso a projetos não é uma tarefa fácil e neste caso, existem ferramentas não correntes de apoio à inspeção que poderão ser utilizadas no local. Alguns aparelhos expeditos, que por medição da dureza superficial do material, permitem converter e determinar a sua resistência através de fórmulas de correção ou ábacos, são caracterizados como medidas de substituição na falta de projetos. Para estruturas metálicas, o aparelho de ensaio de dureza Leeb e o medidor de espessura ultrassônico, que permite detectar a secção e perda de peças metálicas corroídas, são ferramentas que podem contribuir para uma obtenção de dados mais completos (PEREIRA, 2018).

Patologias em estruturas metálicas

Com base no manual de inspeções de pontes rodoviárias do DNIT, as patologias mais comuns em estruturas de aço são:

- a) Corrosão;
- b) Fadiga;
- c) Danos nas ligações;
- d) Flambagem Local ou global;
- e) Danos de colisão;
- f) Danos de cargas excessivas;
- g) Danos de altas temperaturas.

Neste tópico, serão explanados os danos mais recorrentes nas estruturas metálicas e a evolução da patologia perante os níveis de deterioração. Assim, posteriormente, será possível classificar a condição de estabilidade da estrutura a partir do estado atual da estrutura.

Corrosão

Segundo o Manual de Inspeções de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004b), a corrosão é um dos principais tipos de deterioração do aço, provocando uma substancial redução na capacidade resistente dos elementos estruturais ou das conexões. De acordo com (GENTIL, 2003) entende-se por corrosão a deterioração de um material, predominantemente metálico, por meio da ação química e/ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos. Como agentes de aceleração do processo corrosivo dos elementos, tem-se a influência de fatores climáticos e poluentes atmosféricos aplicados a este fenômeno.

As corrosões em pontes metálicas possuem causas citadas por (Lourenço et al, 2009) e são provenientes da presença de poeira (corrosão atmosférica), da variação da umidade do próprio ambiente e dos gases corrosivos. (BRINCK et al, 2004) complementa que além destes fatores, a idade avançada da estrutura, a falta de proteção ou proteção inadequada, a presença de ferrobactérias e a aeração diferencial são causas que elevam a uma corrosão nas estruturas metálicas.

O Manual de Inspeções de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004b) classifica os tipos de corrosão como corrosão ambiental, corrosão bacteriológica e corrosão sob tensões de tração. A corrosão ambiental afeta primeiramente o metal em contato com o solo ou água e é causada pela presença da umidade, do oxigênio, de detritos da própria rodovia e de excrementos de pássaros. A corrosão bacteriológica é causada por organismos encontrados em pântanos, solos ácidos, águas estagnadas e águas contaminadas. Já a corrosão sob tensões de tração, mais conhecida como "stress corrosion", ocorre quando o aço, em meio oxidante, é submetido a fortes tensões de tração.

Para entender como ocorre a corrosão Feliu (1984) cita o mecanismo de ataque e relaciona-o à alteração localizada do meio onde a estrutura se encontra. Assim, em concordância com Gentil (2003), para classificar os níveis de corrosão é necessário avaliar o meio corrosivo em que a obra está inserida.

Fonseca (2018) aponta que a avaliação da corrosão é subjetiva, o que depende de vários fatores e da experiência do inspetor. Sendo assim, é importante ressaltar que a caracterização estrutural e de durabilidade depende intrinsecamente da inspeção visual e da forma que o inspetor classificaria os níveis de corrosão encontrados. Algumas formas de corrosão podem ser destacadas para obras de arte especiais metálicas. Poças (2009) apresenta alguns tipos mais comuns como sendo corrosão uniforme, em ranhuras / canto vivo, por frestas, por pites, por lixiviação, intergranulares ou sob tensão e por placas. Na Figura 2 é possível identificar como a estrutura se manifesta a partir dos níveis de corrosão considerados.

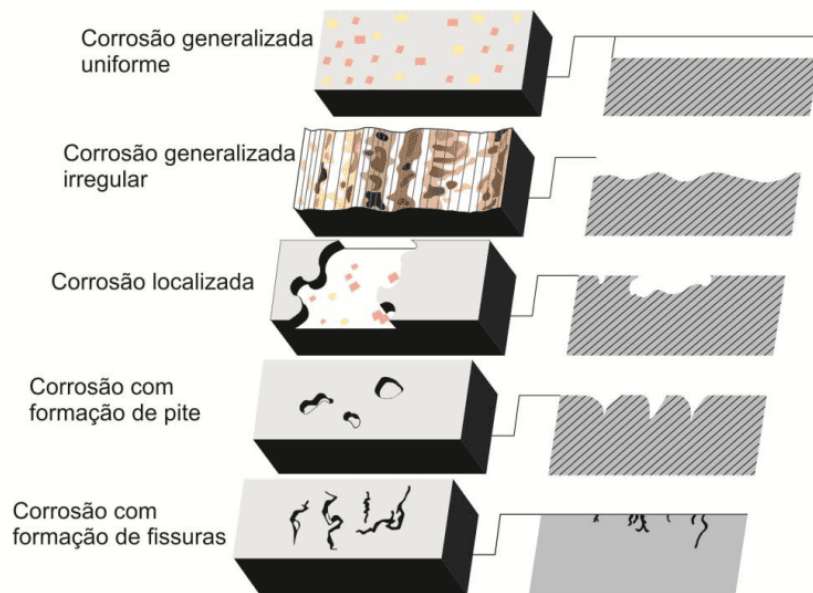


Figura 2 – Classificação do elemento quanto à redundância interna (Adaptado de FELIU, 1994)

De posse das informações encontradas sobre corrosão, uma lista de danos foi sugerida para que se possa obter opções de cadastro do dano ao realizar uma inspeção. Os danos devido à corrosão presentes nas estruturas metálicas podem ser identificados através da Tabela 1.

Tabela 1 – Danos devido à corrosão

Dano	
1	Corrosão uniforme
2	Corrosão generalizada irregular
3	Corrosão localizada com formação de placas
4	Desprendimento da camada do substrato

Fadiga

Segundo o Manual de Inspeções de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004b), fissuras ou trincas de fadiga ocorrem em estruturas submetidas a carregamentos repetidos, que provocam fortes flutuações de tensões. Alguns fatores que provocam trincas de fadiga podem ser pontuados como:

- a) Grande amplitude de variação de tensões;
- b) Alta frequência de tráfego de caminhões pesados;
- c) Tipo de detalhe;
- d) Qualidade do material;
- e) Qualidade da solda;
- f) Idade e histórico de cargas na ponte.

O Manual de Inspeções de Pontes Rodoviárias do DNIT (2004b) não classifica a condição da OAE de acordo com os níveis dos danos causados pela fadiga em uma estrutura metálica. Fonseca (2018) cita que o fenômeno de fadiga é caracterizado pelo surgimento de uma trinca inicial, propagada pelas tensões cíclicas através da seção do elemento até atingir um tamanho crítico, em que o elemento fraturado pode levar a estrutura ao colapso. Um fator necessário para avaliar o grau de deterioração da estrutura por meio de surgimento de fraturas por fadiga é a redundância estrutural. A redundância estrutural permite que exista múltiplos caminhos de carga devido ao elevado número de elementos estruturais, dotando a estrutura de uma boa margem de sobre resistência, avaliada através da diferença entre o esforço de corte basal que provoca a primeira rótula plástica e o correspondente ao mecanismo de rotura.

Neste sentido, AREMA (2018) define que uma ponte com quatro longarinas possui redundância, já uma ponte com duas longarinas não tem redundância (Figura 3). A redundância também pode ser classificada

internamente, quando o elemento é composto por vários outros componentes fixados mecanicamente, como no caso de perfis compostos, onde múltiplos caminhos de carga podem ser formados, e a falha de uma componente não causaria a falha total do elemento.

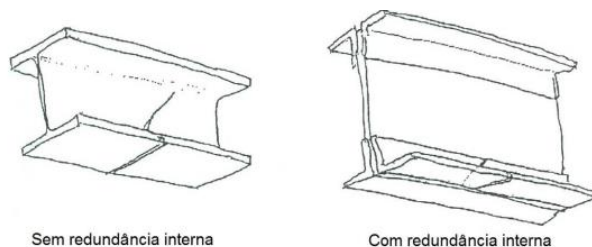


Figura 3 – Classificação do elemento quanto à redundância interna (AREMA, 2018)

Quanto à fadiga em estruturas metálicas, para classificar as condições dos elementos deve-se atentar aos membros críticos ou não à fatura associada a possibilidade de redundância ou não dos elementos. Segundo Connor *et al* (2015), quando há membro com redundância, ou seja, que apresenta um caminho de carga alternativo, este não é considerado crítico à fratura. Logo, na Tabela 2 identifica-se os possíveis danos sugeridos devido à fadiga nos elementos metálicos.

Tabela 2 – Danos devido à fadiga

Dano
1 Trinca em elementos com redundância
2 Trinca em elementos sem redundância

Danos em ligações metálicas

Nas ligações, os erros patológicos mais comuns estão relacionados com erros de concepção, corrosão, defeitos de fabricação de soldas e ligações parafusadas ou montagem inadequada. Comumente, entende-se que as estruturas metálicas apresentam duas ligações mais recorrentes, as soldadas e as parafusadas. Nas ligações parafusadas, a transmissão de tensões ocorre por meios indiretos. Sendo assim, as patologias associadas a estas ligações estão relacionadas a problemas de resistência no fuste (furo) e na chapa de ligação. Em elementos soldados, tem-se que as tensões atuantes são transmitidas diretamente pela ligação, e as peças ligadas trabalham como se fosse um único elemento (CASTRO, 1999). Para estruturas com carregamento cíclico, ou seja, em estruturas como pontes e viadutos, é preciso atentar-se também aos danos por fadiga e relaxação dos parafusos.

Nas ligações parafusadas ou rebitadas, os danos mais comuns são encontrados devido a relaxação das ligações, a erros de execução, erros de projeto, perda de elementos e deformação. Nas ligações soldadas, entende-se que as patologias geradas são à fratura do elemento soldado, à fissura no cordão de solda e à deformação da solda.

Quanto aos danos identificados em ligações metálicas, pode-se resumir, conforme determina o *Department of Transport and Main Roads* da Austrália no *Structures Inspeccion Procedure Manual* (RMS, 2007) e por Fonseca (2018) os danos em ligações são caracterizados pela ausência e desalinhamento dos parafusos e por fraturas nos elementos soldados. Neste sentido, os possíveis danos que podem causar nas ligações metálicas são identificados na Tabela 3.

Tabela 3 – Danos devido às ligações metálicas

Dano	
1	Ligações ligeiramente desalinhas
2	Ligações com ligeira corrosão
3	Perda de até 1/6 dos parafusos
4	Perda em mais de 1/6 dos parafusos
5	Fissura por fadiga no metal base
6	Corrosão generalizada irregular
7	Corrosão avançada e ligações rompidas

Critérios de classificação da não conformidade

Após apresentar os danos que mais atuam nas estruturas metálicas, os elementos estruturais e civis podem ser classificados conforme os critérios apresentados por algumas literaturas. Neste tópico, serão apresentados os critérios definidos por algumas instituições, a fim de obter parâmetros de classificação. Ao final, também será apresentada uma adaptação da NBR 9452 (ABNT, 2019) para estruturas de aço por Fonseca (2008).

Critério de classificação de não conformidade segundo a ASSHTO (2015)

A *American Association of State Highway (ASSHTO)* no *AASHTO Guide Manual for Bridge Element Inspection (2015)* apresenta uma classificação para estruturas de aço a partir dos danos identificados neste tipo de material. A sua classificação varia de 1 - Bom a 4 - Grave. Na Tabela 4 é possível identificar a classificação de acordo com os danos descritos anteriormente aos elementos.

Tabela 4 – Classificação da condição estrutural dos elementos segundo a ASSHTO (2015)

Danos	Condição verificada na inspeção especial segundo parâmetros da ASSHTO	Nota de classificação
Corrosão	Ausência de corrosão.	1 - Bom
	Corrosão superficial. Início de corrosão no aço.	2 - Regular
	Há perda de seção evidente ou há presença de oxidação, porém sem apresentar riscos estruturais.	3 - Ruim
	A condição da estrutura garante uma intervenção estrutural para determinar o efeito da corrosão sobre a resistência e o nível de manutenção; OU uma revisão estrutural foi concluída e os danos ainda impactam na resistência ou na manutenção do elemento/ponte.	4 - Crítico
Fratura por fadiga	Ausência de fratura por fadiga.	1 - Bom
	Rachadura que se auto-prendeu ou foi presa com orifícios de travamento eficazes, placas de duplicação ou similares.	2 - Regular
	Rachadura identificada e não presa, mas não garante revisão estrutural.	3 - Ruim
	A condição da estrutura garante uma intervenção estrutural para determinar o efeito da corrosão sobre a resistência e o nível de manutenção; OU uma revisão estrutural foi concluída e os danos ainda impactam na resistência ou na manutenção do elemento/ponte.	4 - Crítico
Conexões	Conecção instalada e funcionando como pretendido.	1 - Bom
	Fixadores soltos ou corroídos sem distorção, porém não há perda de conexão e o funcionamento está como o esperado.	2 - Regular
	Parafusos, rebites ou elementos de fixação ausentes; soldas quebradas; ou corrosão com distorção, porém sem necessidade de revisão estrutural.	3 - Ruim
	A condição da estrutura garante uma intervenção estrutural para determinar o efeito da corrosão sobre a resistência e o nível de manutenção; OU uma revisão estrutural foi concluída e os danos ainda impactam na resistência ou na manutenção do elemento/ponte.	4 - Crítico
Distorção	Ausência de distorção.	1 - Bom
	Distorção que não requer mitigação ou distorção mitigada	2 - Regular
	Distorção que requer mitigação mas que não necessita de revisão estrutural.	3 - Ruim
	A condição da estrutura garante uma intervenção estrutural para determinar o efeito da corrosão sobre a resistência e o nível de manutenção; OU uma revisão estrutural foi concluída e os danos ainda impactam na resistência ou na manutenção do elemento/ponte.	4 - Crítico

Critério de classificação de não conformidade segundo a RMS (2007)

O Manual de Procedimentos para Inspeções de Pontes elaborado pelo Departamento de Estradas e Serviços Marítimos (*Roads and Maritime Service - RMS*) do Governo de Novas Gales do Sul (*NSW Government*), na Austrália, contém uma classificação para os níveis de condição da estrutura metálica. Segundo o manual, algumas áreas são principais na inspeção e devem ser verificadas quanto a rachaduras, perda de seção e outros sinais de deterioração. As áreas essenciais são descritas como as bordas dos membros, as conexões, as placas de emenda, as placas finais de vigas e os acordes inferiores de treliças. Na Tabela 6, mostra-se a classificação da condição dos elementos segundo parâmetros definidos pelo RMS (2007).

Tabela 5 – Classificação da condição estrutural dos elementos segundo o RMS (2007)

Condição verificada na inspeção segundo parâmetros da RMS	Nota de classificação
Não há evidência de perda de seção ou dano ou rachadura.	1
1. Ferrugem da superfície ou corrosão menor se formou ou está se formando; 2. Não há perda mensurável de seção. Pode haver pequenas deformações que não afetam a integridade do elemento; 3. Não há rachaduras no aço ou nas soldas; 4. Todos os parafusos e rebites estão em boas condições.	2
1. Pites pesados podem estar presentes; 2. Alguma perda de seção mensurável está presente localmente, mas não é crítico para a integridade estrutural e / ou manutenção do elemento; 3. Pode haver parafusos ou rebites soltos ou ausentes; 4. Os defeitos foram avaliados como insuficiente para impactar na resistência final e / ou na capacidade de manutenção do elemento.	3
1. A perda de seção é suficiente para justificar a análise para determinar o impacto no último resistência e / ou capacidade de manutenção do elemento ou da ponte; 2. Pode haver rachaduras e / ou deformações no aço ou na soldagem; 3. Pode ser numerosos parafusos ou rebites com falha ou ausentes; 4. Defeitos podem ter impacto sobre resistência e / ou capacidade de manutenção do elemento.	4

Para entender a classificação da Tabela 6, algumas notas de orientação são necessárias. Assim, quando se atribui o termo danos ou defeitos, entende-se que são entalhes, medidores ou discontinuidades. As deformações são definidas como chapa curvada, membros dobrados ou seções. Já quando se trata de perda de seção, o elemento perdeu metal original por ação de alguma patologia.

Para as notas indicadas de 1 a 4, entende-se de notas 1, os elementos com boa integridade estrutural, sem identificação de patologias, a classificação 2 para elementos em condição regular, 3 para condição ruim e 4 quando o elemento está com condição grave, apresentando riscos que comprometem a estabilidade da estrutura.

Critério de classificação de não conformidade de acordo com a proposta de Fonseca (2018)

Fonseca (2018) propõe uma classificação da condição dos elementos de acordo com os danos mais frequentes nas estruturas metálicas. A sua classificação varia de 1 a 5, tendo como 5 uma condição excelente, 4 como boa, 3 sendo regular, 2 como ruim e por fim, 1 como uma estrutura crítica. Além de classificar os elementos de acordo com a condição de estabilidade, ou seja, uma caracterização estrutural, em algumas patologias apresenta-se uma condição de conservação através da caracterização de durabilidade. A classificação de Fonseca (2018) foi apresentada em referência ao Bridge Inspection Handbook da American Railway Engineering and Maintenance of Way Association (AREMA, 2008) e com adaptações dos padrões normativos descritos na ABNT NBR 9452 (ABNT, 2019).

A classificação também aborda exemplos de elementos com patologias descritas através da representação por foto, conforme mostra a Tabela 11.

Tabela 6 – Classificação da condição estrutural dos elementos segundo o Fonseca (2018)

	Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização de durabilidade
Corrosão	5	Excelente	A estrutura não apresenta defeitos	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.
	4	Boa	Superfície do aço com pouca oxidação ao longo de sua superfície. A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
	3	Regular	Superfície com início de oxidação e da qual a tinta começou a desprender. Há perda de seção de até 5% sem comprometimento da estabilidade da obra.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
	2	Ruim	Superfície de aço onde toda proteção da superfície foi eliminada e na qual se observa uma corrosão uniforme generalizada. Corrosão caracterizada pela formação de placas planas de óxido de ferro (carepas) que se desprendem da área sob corrosão com perda de seção de 5% a 10% em elementos principais.	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
	1	Crítica	Superfície do aço onde se observa uma corrosão atmosférica severa e generalizada, apresentando pits e alvéolos. Corrosão caracterizada pela formação intensa de placas, associada à formação de grumos a partir de várias placas sobrepostas de óxido de ferro com perda de seção acima de 10% em elementos principais.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.
Ligação metálica	5	Excelente	A ligação não apresenta defeitos	Não há caracterização de durabilidade
	4	Boa	Ocorrência de sinais de movimentação ou corrosão em até 1/6 dos parafusos/rebitos em ligação de elemento estrutural principal.	Não há caracterização de durabilidade
	3	Regular	Ocorrência de deficiência na ligação que não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Ocorrência de sinais de movimentação ou corrosão em mais de 1/6 dos parafusos/rebitos em ligação de elemento estrutural principal	Não há caracterização de durabilidade
	2	Ruim	Ocorrência de danos na ligação que comprometam a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Perda de até 1/6 dos parafusos/rebitos em ligação de elemento estrutural principal. Ocorrência de trinca em elemento ou meio de ligação com redundância ou de elemento estrutural secundário.	Não há caracterização de durabilidade
	1	Crítica	Ocorrência de falha grave em ligações de elementos estruturais principais com risco de colapso estrutural. Perda de mais de 1/6 dos parafusos/rebitos da ligação. Ocorrência de trinca em elemento ou meio de ligação sem redundância ou de elemento estrutural principal.	Não há caracterização de durabilidade
Fadiga	5	Excelente	Não apresenta trincas	Não há caracterização de durabilidade
	4	Boa	Ocorrência de trincas em fase inicial em elemento estrutural secundário com redundância	Não há caracterização de durabilidade
	3	Regular	Ocorrência de trincas em fase inicial em elemento estrutural secundário sem redundância. Ocorrência de trincas em fase avançada em elemento estrutural secundário com redundância.	Não há caracterização de durabilidade
	2	Ruim	Ocorrência de trincas em fase avançada em elemento estrutural secundário sem redundância. Ocorrência de trincas em fase inicial em elemento estrutural principal com redundância.	Não há caracterização de durabilidade
	1	Crítica	Ocorrência de trincas em elemento estrutural principal sem redundância. Ocorrência de trincas em fase avançada em elemento estrutural principal com redundância.	Não há caracterização de durabilidade

Conclusão

Este trabalho teve como objetivo apresentar diretrizes para uma inspeção em obras de arte especiais e as classificações das OAEs de acordo com as patologias manifestadas. Assim, buscou-se nas literaturas o embasamento da classificação das obras por meio de notas técnicas de acordo com a NBR 9452 (ABNT, 2019). Desta forma, os principais danos que podem ser encontrados em estruturas metálicas foram descritos e com isso foi possível sugerir uma forma de classificação para a OAE, onde os danos podem ser cadastrados em uma ficha técnica, conforme tem-se o Manual de Inspeções de Pontes Rodoviárias do DNIT (DNIT, 2004b).

Sendo assim, é possível ter uma percepção sobre a situação da OAE a partir dos danos encontrados, pois uma nota técnica poderá ser atribuída conforme as classificações de não conformidade apresentadas e disponíveis na literatura, justificando a necessidade de avaliar uma estrutura metálica a partir de parâmetros prescritos.

Referências

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIAL. Manual for Bridge Element Inspection, First Edition 2015.
- AMERICAN RAILWAY ENGINEERING AND MAINTENANCE OF WAY ASSOCIATION. Bridge Inspection Handbook. United States of America, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios — Procedimento. Rio de Janeiro, 2008. 247 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2016. 54 p.
- BELLEI, I. H. PINHO, F. O. Pontes e viadutos em vigas mistas. Centro Brasileiro de Construção em Aço. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2007. POÇAS, R. F. G. Gestão do ciclo de vida de pontes. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Portugal, 2009.
- CASTRO, E. M. C. De. Patologia Dos Edifícios. [s. l.], 1999.
- DNIT, 2004a. NORMA DNIT 010/2004 - PRO. Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Ministério dos Transportes. Brasil. 18 p.
- DNIT, 2004b. Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias. Instituto de pesquisas Rodoviárias. Publicação IPR – 709. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Ministério de Transportes. Brasil 255p.
- FELIU, S. Princípios de corrosión electroquímica y tipos de ataque. In: Fernandés, J. A. G. (Ed.) Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión, Madrid: CSIC, p. 10 - 44, 1984.
- FONSECA, W. D. A. Proposta de manual de inspeção de pontes metálicas ferroviárias. 2018. 46p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2018.
- GENTIL, V. (2003). Corrosão, 341p., Rio de Janeiro.
- GIMSING, N. J. Cable supported bridges: concept and design. Nova York: Chichester: 1983. X, 400 p.
- LOURENÇO, L. C; LOURENÇO, M. V. C. ; MENDES, L. C. Verificação da Corrosão e de Outras Patologias em Pontes Metálicas. Teoria e Prática na Engenharia Civil, [s. l.], v. 14, p. 25–29, 2009. Disponível em: http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art3_N14.pdf
- OHIO DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (ODOT). Manual of Bridge Inspection. [s. l.], v. v. 8, 2014.
- PEREIRA, S. A. A. Inspeção de obras de arte metálicas e mistas - Caso de estudo: ponte de D. Luís s/ o Rio Tejo. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. 83p. Lisboa. 2018
- PFEIL, W.; PFEIL, M. Estruturas de aço: dimensionamento prático segundo a NBR 8800:2008. 8. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009 (reimpressão 2010).
- ROAD AND MARITIME SERVICES (RMS) Bridge Inspection Procedure Manual. Roads and traffic authority of New South Wales (NSW). Second edition, 2007.
- VITÓRIO, J. A. P. Conservação, Segurança Estrutural e Reforço de Pontes Rodoviárias de Concreto. Palestra no VIII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, São Paulo, 2015.