



XIV Congresso Brasileiro
de Pontes e Estruturas

Contribuições às inspeções de Obras de Arte Especiais em estruturas metálicas

José Filipe Carvalho de Viveiros¹, Gisleine Coelho de Campos², Daniel Mariani Guirardi³

¹ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP / IPT / HAB-TCE / filipe.viveiros@ensino.ipt.br

² Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP / IPT / Seção de Obras Civas / gisleine@ipt.br

³ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP / IPT / Seção de Obras Civas / dmg@ipt.br

Resumo

As Obras de Arte Especiais (OAE), em particular as pontes e viadutos rodoviários e ferroviários compostos por elementos estruturais metálicos representam uma parcela significativa das obras de infraestrutura de transportes no Brasil. As pontes e os viadutos são obras projetadas para apresentar grande longevidade; entretanto, a efetividade da vida útil idealizada no projeto depende da manutenção de cada sistema que compõe o seu conjunto construtivo. A inspeção periódica das construções é fundamental no processo de manutenção de uma estrutura e requer conhecimento das características, comportamentos e particularidades dos materiais sob ações ambientais e de utilização da estrutura. A norma ABNT NBR 9452:2019 de inspeções de Obras de Arte Especiais de concreto armado, atualmente em revisão, busca ampliar a abrangência para incluir as estruturas metálicas. De maneira complementar ao trabalho de revisão da norma, este trabalho traz consigo contribuições ao tema por meio de pesquisas às literaturas internacionais, materiais desenvolvidos por iniciativa de organizações e entrevistas com profissionais experientes em diversas fases da vida útil das OAE em estruturas metálicas. A partir dessas contribuições, apresentam-se diretrizes para inspeção e, por meio da aplicação em casos reais de pontes metálicas, apontam-se contribuições para questões importantes e particulares de Obras de Arte Especiais metálicas.

Palavras-chave

Inspeção; Obras de Arte Especiais; Pontes; Viadutos; Estruturas Metálicas

1. Introdução

A engenharia civil é responsável pela realização de projetos que possuem grande longevidade, sobretudo no setor denominado Obras de Arte Especiais (OAE), voltado às estruturas diferenciadas, tais como passarelas, pontes e viadutos.

As pontes rodoviárias e ferroviárias compostas integralmente ou parcialmente por elementos metálicos em suas estruturas representam uma parte das obras de infraestrutura de transportes do Brasil. Segundo Fonseca (2018), grande parte construída entre o final do século XIX e o início do século XX.

Diante desse cenário, a inspeção e manutenção das OAEs em estruturas metálicas tornaram-se imprescindíveis para a garantia da segurança, porque tanto a malha ferroviária como a rodoviária brasileira apresentam construções antigas e com pouca manutenção e controle das informações.

A vida útil da OAE, idealizada no projeto, depende do desempenho de cada sistema que compõe o conjunto construtivo, que por sua vez, depende da manutenção para garantir que esses sistemas funcionem mesmo sob a ação de desgastes naturais e fatores externos, como intempéries, e alterações urbanas do entorno. O bom desempenho, ao longo da vida útil de uma obra, é avaliado pelo meio técnico por meio de parâmetros de durabilidade, funcionabilidade e segurança de cada parte do conjunto construtivo.

O conceito da manutenção é imprescindível para a preservação da qualidade dessas obras ao longo do tempo. Atualmente existem sistemas modernos de gerenciamentos de obras para controle de

operação, manutenção e gestão de recursos de OAEs, o chamado Sistema de Gerenciamento de Obras (SGO).

O principal desafio no gerenciamento da manutenção dessas obras está ligado à priorização de recursos, sendo necessária a realização de uma avaliação a fim de garantir ao menos o mínimo de desempenho esperado. O gráfico apresentado na Figura 1 identifica o efeito das manutenções de OAE (R1, R2 e R3) no prolongamento da vida útil da estrutura (Δt_1 , Δt_2 e Δt_3). O “R(to)” representa a curva decrescente da capacidade resistente da estrutura com o passar dos anos; o “S(t0)” representa a curva crescente devido ao acréscimo das solicitações com o aumento do tráfego de veículos e os incrementos de carga adicionadas sobre o tabuleiro (como pavimentações novas sobre antigas), enquanto o “D” representa o momento em que as curvas se encontram, o que demonstra o final da vida útil da estrutura, quando a capacidade resistente passa a ser menor que as solicitações.

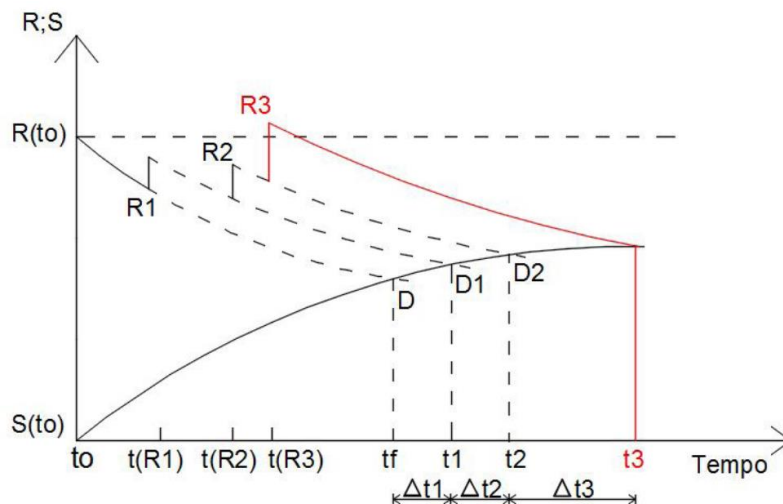


Figura 1 – Comportamento da OAE ao longo das manutenções. Fonte: Araújo (2017, p.27).

A avaliação do desempenho de uma obra é realizada considerando uma série de aspectos técnicos ligados ao funcionamento da estrutura e propriedade dos materiais. A determinação desse estado, por sua vez, se dá por meio de inspeções e embasamentos técnicos. As inspeções periódicas são ferramentas fundamentais nesse processo. No Brasil, a principal referência normativa para as inspeções de pontes, viadutos e passarelas é a ABNT NBR 9452:2019, dedicada às estruturas em concreto, a qual está em processo de revisão para ampliar sua abrangência às estruturas metálicas. Por esse motivo, sabe-se que há um importante papel na normalização e desenvolvimento de estudos científicos a respeito desse tema atualmente no Brasil.

Segundo Araújo (2017), conforme estabelecido na ABNT NBR 9452:2019, é por meio das inspeções que se torna possível detectar em tempo hábil um direcionamento para os trabalhos de inspeções especiais e extraordinárias, indicando as intervenções necessárias nas atividades de manutenção, reduzindo os custos de recuperações ou reforços estruturais.

A ABNT NBR 9452:2019 regula os requisitos exigíveis na realização de inspeções em pontes, viadutos e passarelas de concreto. Entretanto, essa norma não prevê diretrizes voltadas às inspeções e manutenções dessas estruturas associadas a materiais diferentes do concreto, inexistindo qualquer outra norma brasileira com essa finalidade.

Existem documentos internacionais que preenchem essa lacuna, como a American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2017), American Railway Engineering and Material Association (AREMA, 2013), o European Standards (EUROCODE, 2006), Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA, 2022), New York State Department of Transportation (NYSDOT, 2021) e alguns procedimentos e manuais nacionais, como os desenvolvidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2004).

2. OAEs com estruturas metálicas

DNIT (2004) apresenta as tipologias estruturais metálicas mais comuns no Brasil como sendo: vigas mistas múltiplas de perfis usinados; vigas mistas de chapas soldadas; vigas-caixão; treliças e pórticos. As Figuras 2 a 7 ilustram as diferentes tipologias.



Figura 2 – Longarinas metálicas com laje em concreto. Fonte: DNIT (2004).



Figura 3 – Viga caixão metálica. Fonte: Próprio autor.



Figura 4 – Treliça com estrado inferior e contraventamento superior. Fonte: Montoya et al. (2010).

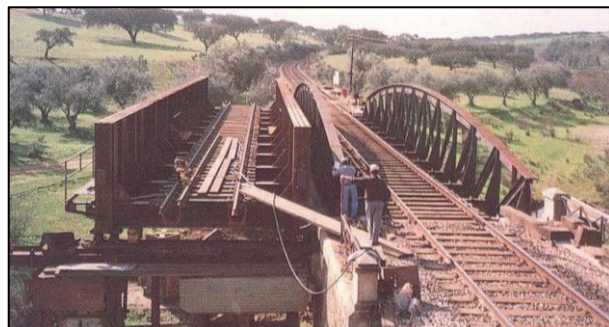


Figura 5 – Treliça com estrado inferior, sem contraventamento. Fonte: Marques (2006).



Figura 6 – Treliça com estrado superior. Fonte: Poças (2009).

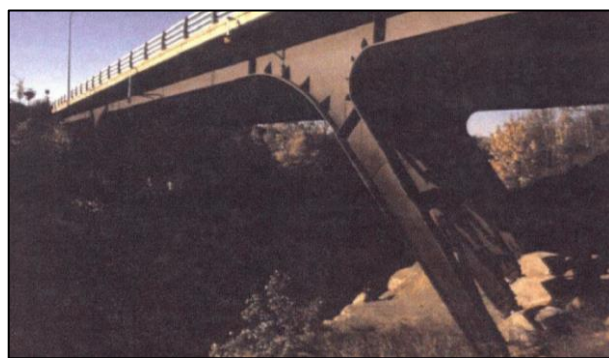


Figura 7 – Estrutura aporticada. NYSDOT (2021).

A ABNT NBR 9452:2019 define os chamados elementos principais, secundários e complementares da seguinte forma:

- Elemento principal (P) – elemento estrutural cujo dano pode ocasionar o colapso parcial ou total da obra;
- Elemento secundário (S) – elemento cujo dano pode ocasionar ruptura localizada em apenas parte de um vão;
- Elemento complementar (C) – elemento cujo dano não causa nenhum comprometimento estrutural, apenas funcional e de durabilidade na OAE.

A seguir estão ilustradas as tipologias estruturais com aço, acompanhada da relevância de cada elemento estrutural, segundo DNIT (2004).

- Longarina metálica com laje em concreto – longarinas (P), transversinas (P/S); laje (S) contraventamentos (S); juntas, guarda-corpos, barreiras, elementos de via etc. (C);
- Viga caixão metálico – viga caixão (P); transversinas (P/S); Laje (P); juntas, guarda-corpos, barreiras, elementos de via etc. (C);
- Estruturas treliçadas – treliça (P); estrado (P); contraventamento (S); elementos de via (C);
- Estrutura aporticada – pórtico (P); laje (S); juntas, guarda-corpos, barreiras, elementos de via etc. (C).

3. Inspeção de OAEs

A publicação da norma ABNT NBR 9452:2019 – Inspeções de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento, representou um avanço importante no setor, porque estabeleceu requisitos para realização das inspeções e apresentação dos resultados. São considerados quatro tipos de inspeções:

- Cadastral – inspeção realizada imediatamente após a conclusão da obra, reforço ou no momento do início do acompanhamento de OAE que não fazia parte de um sistema de monitoramento;
- Rotineira – inspeção de acompanhamento periódico de 1 a 2 anos, dependendo do estado de conservação verificado na última inspeção;
- Especial – inspeção detalhada da estrutura com periodicidade de 5 a 8 anos, dependendo do estado de conservação verificado na última inspeção;
- Extraordinária – inspeção para verificar o estado da OAE em razão da ocorrência de demandas não programadas, tais como: impacto de meios de transportes (embarcações, veículos e trens) e ocorrência de eventos naturais (inundações, sismos, vendaval e outros).

As OAEs são classificadas a partir das penalidades que consideram os danos causados por anomalias em elementos ou sistemas que afetam os parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade. Na versão vigente da Norma, apenas as estruturas de concreto armado estão contempladas na classificação proposta

3.1 Principais anomalias em estruturas metálicas

Poças (2009) cita em seu estudo uma lista com as principais anomalias de OAE em estruturas metálicas apresentada pelos principais gestores de linhas ferroviárias em um programa financiado pela Comissão Europeia, compreendendo:

- Corrosão - é uma deterioração resultante da reação entre o aço e um cenário ambiental com condições ideais para a sua formação. No caso de uma corrosão galvânica, a sua origem depende, além do meio eletrolítico, da presença de dois metais com diferentes potenciais de corrosão (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003);
- Fissuração por fadiga - falha ocasionada por um processo localizado e contínuo de acúmulo de dano gerado por meio de aplicações de cargas repetidas que não seriam capazes de danificar a peça em aplicações isoladas (TEIXEIRA, 2015);
- Defeitos na proteção dos elementos – falha nas tintas protetoras sobre a estrutura, responsável por criar uma barreira física ou uma proteção química, nos casos das tintas com proteções anódicas e catódicas;
- Deformações - podem ser definidas pelo estado alterado da parte ou do todo de um elemento estrutural submetido às ações que alteraram seu estado ideal de projeto;
- Falhas em ligações - As falhas em ligações soldadas podem provir de uma má execução ou de ações em estruturas em serviço. A falha em ligações parafusadas e rebitadas, por sua vez, podem ser originadas pela falha do conector (ausente, solto, sem aperto, quebrado ou deformado).

As Figuras 8 a 11 apresentam a identificação, por uma inspeção visual, de algumas das anomalias citadas.



Figura 8 – Falha na pintura de proteção. Fonte: próprio autor.

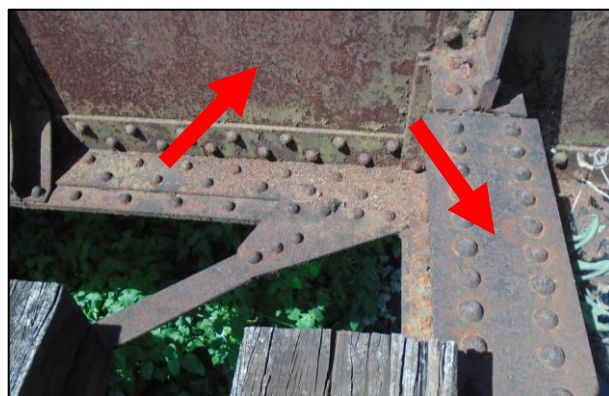


Figura 9 – Corrosão do aço. Fonte: próprio autor.



Figura 10 – Falha em ligação rebitada. Fonte: próprio autor.



Figura 11 – Peça deformada. Fonte: próprio autor.

3.2 Principais ensaios não destrutivos

Além das inspeções visuais, os ensaios em campo e laboratoriais constituem importantes aliados para a determinação do estado atual e da qualidade dos materiais da estrutura.

Quanto à natureza, os ensaios são classificados como “destrutivos”, quando há a remoção ou alteração de parte do elemento para obtenção de uma amostra ou teste do material, ou “não destrutivos”, quando há a manutenção da forma.

Os ensaios não destrutivos trazem algumas vantagens em comparação aos destrutivos por não causarem danos à estrutura, podendo ser repetidos a qualquer momento e permitindo um acompanhamento ao longo do tempo (JULIANI, 2014).

Este item descreve alguns ensaios de campo não destrutivos com as suas respectivas características particulares de aplicação e análise dos resultados:

- Determinação da espessura da película seca – a norma brasileira NBR 10443 (ABNT, 2008) prescreve os métodos para determinação da espessura de películas secas de tintas. A medição é realizada por meio de um equipamento medidor de espessura de camadas;
- Aderência da película seca – a ABNT NBR 11003:2009 prescreve os métodos para determinação da aderência das tintas ao substrato. Nesse caso, avalia-se a quantidade da película destacada após o ensaio;
- Líquido Penetrante – a ABNT NBR 15691:2009 apresenta orientações para realização do ensaio de Líquido Penetrante em conformidade com a ASTM E 165. Esse ensaio consiste na avaliação da solda quanto à presença do líquido revelado;

- Ultrassom – a norma brasileira ABNT NBR 6002:2015 apresenta orientações para realização do ensaio de Ultrassom quanto à detecção de falhas na continuidade de chapas metálicas. Esse ensaio consiste na avaliação da propagação da onda ultrassônica através do metal;
- Partícula magnética - a norma brasileira ABNT NBR 16617:2018, apresenta orientações para realização do ensaio de Partícula Magnética. O método se aplica às regiões de emenda de chapas nas OAEs metálicas para verificação da qualidade da ligação soldada.

A instrumentação de obras para realização de ensaios de monitoração de OAE é utilizada para determinar ou monitorar grandezas, como: deslocamentos, deformações, vibrações, tempo e temperatura (AREMA MRE, 2013). O objetivo dos ensaios dessa natureza é obter um modelo estrutural representativo a partir da calibração dessas grandezas físicas e, com base nisso, desenvolver estudos com dados mais confiáveis para avaliar os efeitos dinâmicos e as distribuições de esforços na estrutura (DNIT, 2010).

A ABNT NBR 15307:2005 é uma norma brasileira que aborda procedimentos para provas de cargas dinâmicas em grandes estruturas, no entanto, nota-se que essa norma não é utilizada e reconhecida como uma referência no meio técnico.

Complementarmente, especialistas buscam literaturas internacionais para embasar seus trabalhos, como: ISO 14963 (2003), Mechanical vibration and shock - Guidelines for dynamic tests and investigations on bridges and viaducts; UNI 10985 (2002), Vibrazioni su ponti e viadotti - Linee guida per l'esecuzione di prove e rilievi dinamici; ISO 18649 (2004), Mechanical vibration - Evaluation of measurement results from dynamic tests and investigations on bridges.

As Figuras 12 a 17 apresentam fotografias da realização de todos os ensaios citados no item 3.2.



Figura 12 – Medição da espessura da película seca. Fonte: próprio autor.



Figura 13 – Ensaio de aderência da película seca. Fonte: próprio autor.



Figura 14 – Ensaio de Líquido Penetrante em solda. Fonte: próprio autor.



Figura 15 – Ensaio de Ultrassom em solda. Fonte: próprio autor.



Figura 16 – Ensaio de Partícula Magnética.
Fonte: Andreucci (2007).

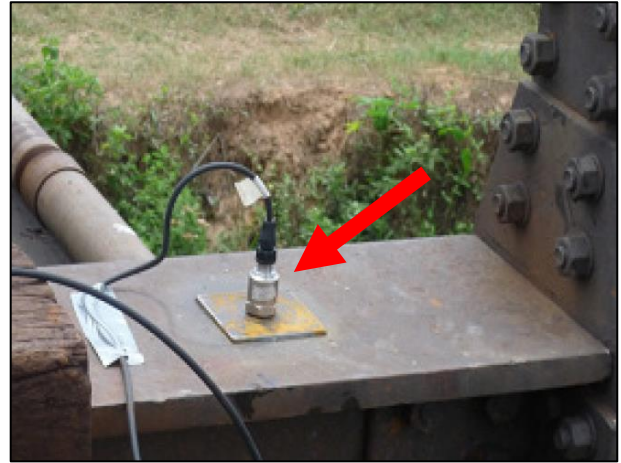


Figura 17 – Instrumentação para ensaio dinâmico.
Fonte: Montoya *et al.* (2010).

4 Contribuições de especialistas

De modo a obter uma visão prática que possa complementar o tema e definir diretrizes para inspeções, buscou-se a opinião de especialistas com pelo menos 10 anos de experiência profissional e com atuação na área de projetos, construção, controle da qualidade da construção e, principalmente, com inspeção e manutenção de Obras de Artes Especiais metálicas. Pode-se considerar a amostra selecionada mais qualitativa do que quantitativa, limitando-se o grupo amostral a 5 profissionais, porém com vasta experiência sobre o tema.

As entrevistas foram semiestruturadas a partir de perguntas previamente elaboradas acerca de questões abrangentes sobre o tema de inspeções de OAE com estruturas metálicas, permitindo com que cada entrevistado pudesse contribuir de maneira espontânea a partir de sua experiência e domínio sobre os pontos suscitados, valorizando a qualidade da pesquisa.

Essa fase da pesquisa ofereceu dinamismo entre o entrevistador e o especialista entrevistado, uma vez que as perguntas abertas fomentaram as discussões, aumentando a troca de conhecimento.

As contribuições foram organizadas de acordo com os assuntos:

- Planejamento da inspeção;
- Recomendações sobre patologias para inspeção;
- Ensaio de campo e laboratoriais para a inspeção;
- Recomendações especiais.

Planejamento da inspeção

O planejamento deve partir dos projetos existentes e inspeções anteriores a fim de observar os pontos críticos da estrutura. Nessa etapa, convém preparar os desenhos e croquis para orientar a atividade do inspetor durante os trabalhos de campo, principalmente quanto à identificação de perda de materiais e/ou peças deformadas, além de facilitar o registro de informações, uma vez que diferentemente das estruturas em concreto, as estruturas metálicas possuem uma quantidade maior de detalhes a serem observados.

É importante que a equipe de campo seja treinada a identificar as anomalias existentes e a registrar as informações com clareza, sempre referenciando os locais de maneira específica, levando-se em consideração os elementos, posição e orientação. Essa instrução também se aplica ao uso de drones, que pode ser um recurso muito útil para inspeção de áreas de difícil acesso, desde que seja realizado por um operador treinado a obter os melhores ângulos e enquadramentos.

Ainda na etapa de planejamento, deve ser elaborado um plano de inspeção das ligações de forma amostral. A amostra deve ser representativa e conter ligações críticas da estrutura. O acesso às ligações e a necessidade ou não de eventual ensaio complementar devem ser previamente planejados.

Nas ligações parafusadas, verifica-se inicialmente a qualidade da ligação por um exame visual e, diante de eventual suspeita de irregularidade, realiza-se uma verificação com chave calibrada.

Recomendações sobre patologias para inspeção

Os especialistas apontaram falha na pintura de proteção e corrosão como as anomalias mais recorrentes em OAE com estruturas metálicas, sendo a fadiga a anomalia mais preocupante, devido à dificuldade na detecção prévia. Parafusos cisalhados e fissuras em chapas podem indicar a existência de falhas por fadiga.

Um ponto importante destacado por um dos especialistas foi o fato dos erros de projetos reduzirem a durabilidade da obra e dificultarem as inspeções e manutenções de estruturas de OAE metálicas.

As áreas inacessíveis devem ser protegidas contra infiltrações e, quando possível, contra a corrosão, demandando sempre um enfoque maior.

As juntas de dilatação devem ser sempre verificadas quanto às infiltrações de água. É importante que não haja empoçamentos, infiltrações pelo tabuleiro e que a estrutura esteja sempre protegida contra corrosão. A interface entre lajes de concreto e longarinas metálicas requer detalhes construtivos que impeçam a deterioração da ligação metálica pela infiltração de água. Do ponto de vista estrutural, nesses pontos é importante a verificação de fissuras no concreto e chapa de base.

Ensaio de campo e laboratoriais para a inspeção

A decisão pela escolha dos ensaios complementares deve considerar as informações que pretendemos obter da estrutura e as que já conhecemos por meio dos projetos e inspeções anteriores.

Recomenda-se a realização de ensaio de caracterização do aço nas inspeções cadastrais e sempre que for desconhecido o seu tipo. Conhecer o tipo do aço é importante para verificar a estrutura e prever o seu comportamento com o meio externo. O aço carbono, por exemplo, é muito suscetível à corrosão. É necessária a realização de inspeção cadastral após a execução de reforços nas estruturas; nesses casos, recomenda-se a realização de ensaios de Ultrassom em todas as soldas das emendas de topo, inspeção visual de 100% das soldas e líquido penetrante em 20% a 30% delas.

Diante da ausência de histórico da obra, construção e manutenção da estrutura, recomenda-se a elaboração de uma inspeção especial que avalie toda a estrutura visualmente e, complementarmente, recomenda-se a realização de ensaios de Líquido Penetrante, Ultrassom, verificação da espessura e aderência da pintura de proteção e ensaios de caracterização do aço.

Nas inspeções especiais, a localização dos ensaios de líquido penetrante deve se concentrar nas regiões com maiores variações de tensões. Os ensaios de Ultrassom, por sua vez, devem ser realizados de maneira amostral nas emendas de topo das ligações soldadas. Recomenda-se também a realização desses dois ensaios nas regiões com grandes concentrações de soldas próximas. No geral, as regiões de apoio da superestrutura são os locais que apresentam a maioria dessas características.

Nas inspeções extraordinárias, devido incêndio próximo a estrutura, recomenda-se a realização de ensaios químicos e físicos a partir de amostra coletada, para entendimento do dano causado.

Nas OAEs metálicas, diante de anomalias com características típicas de fadiga, recomenda-se verificações da estrutura a partir de uma análise instrumental por meio de ensaios dinâmicos, a fim de evidenciar se a fadiga é uma das causadoras dessas anomalias.

Recomendações especiais

Avaliação da relevância, urgência e tendência das anomalias para elaboração de um plano de recuperação da estrutura com base na priorização.

Quando necessário um acompanhamento para verificação de tendências, faz-se necessário que haja um acompanhamento por inspeções rotineiras.

Em casos que não forem claras as recomendações ou critérios de aceitação, recomenda-se a verificação das especificações e premissas originais de projeto. A AWS é uma norma internacional bastante utilizada por projetistas e fabricantes de estruturas metálicas no Brasil.

Na impossibilidade de acesso e inspeção de elementos estruturalmente importantes, mostra-se necessário um estudo da estrutura por instrumentação e acompanhamento do comportamento da estrutura em serviço.

Mesmo em OAE com estruturas com aço patinável, caracterizadas pela resistência natural do aço à corrosão, recomenda-se a realização de pinturas de proteção nessas estruturas caso estejam inseridas em ambientes agressivos.

5 Classificação de OAE com estruturas metálicas

A ABNT NBR 9452 (2019) estabelece, nas tabelas E.2 a E.4 da norma, as penalidades para avaliação da estrutura a partir das anomalias identificadas em cada grau de relevância estrutural do elemento. As penalidades são atribuídas a partir de notas de classificação de 1 a 5, sendo: crítica (1), ruim (2), regular (3), boa (4) e excelente (5). Por meio desse parâmetro pré-estabelecido, obtém-se a menor nota de cada parâmetro: estrutural, funcional e de durabilidade, a fim de refletir a condição da OAE em grupos com recomendações, necessidade de ações e o seu prazo de execução. A revisão da ABNT NBR 9452 prevê ampliar a abrangência e incluir penalidades considerando as patologias de OAE com estruturas metálicas.

A atribuição das notas está associada a uma avaliação do grau de comprometimento do sistema ou elemento componente da OAE, parametrizado por meio de textos que descrevem, em vários graus, a severidade da anomalia associada ao elemento principal, secundário e complementar. Essa avaliação, em alguns casos, é imprecisa e subjetiva devido à falta de critérios de aceitação.

O grande ganho da normalização de inspeções de OAE com estruturas metálicas está na padronização do processo e na redução da subjetividade da avaliação do profissional responsável pela inspeção. Porém, nota-se que, geralmente, as normas não são capazes de cobrir todas as lacunas, cabendo ao profissional se aprofundar nos temas e recorrer às literaturas nacionais e internacionais complementares para auxiliá-lo em sua avaliação.

Complementarmente, como critério de aceitação a alguns resultados da inspeção, apresentam-se a seguir critérios para avaliação de ensaios e graus de severidade de anomalias:

- Avaliação da pintura de proteção – o Centro Brasileiro da Construção em Aço recomenda espessuras da película seca para cada tipo de clima (rural, urbano e marítimo) e para cada material de substrato (aço carbono, aço patinável, aço zincado);
- Avaliação do grau de ferrugem – a ASTM D 610 (2001) apresenta ilustrações para uma escala de 0 a 10 de percentual da superfície enferrujada, sendo: maior que 50% (0) e quase sem ferrugem (10);
- Avaliação dos ensaios de Líquido Penetrante e Ultrassom – a AWS D1.5:2020 apresenta critérios de aceitação para OAE;
- Avaliação de ligações parafusadas – a ABNT NBR 8800:2008 sugere uma inspeção de arbitragem diante de suspeita de os parafusos não estarem apertados com a força de protensão adequada;
- Avaliação da perda de seção em aço patinável – a ABNT NBR 16694:2020 especifica uma sobre-espessura para atender ao consumo de aço necessário à formação da pátina ao longo da vida útil de projeto da estrutura;
- Avaliação quanto à fadiga – a AREMA (2013) apresenta limites de tensões para detalhes críticos de estruturas submetidas a carregamentos cíclicos.

É importante a união do meio técnico no desenvolvimento das técnicas de identificação e tratamento das patologias estruturais, principalmente em Obras de Artes Especiais, que são obras de grandes responsabilidades e de características muito específicas.

Conclusões

A ABNT NBR 9452:2019 está em processo de revisão para ampliar sua abrangência para além das estruturas de concreto. No entanto, ainda existem etapas no processo de avaliação que podem gerar dúvidas quanto à penalidade a ser aplicada aos parâmetros de classificação, deixando os critérios sob

o juízo de uma avaliação subjetiva do profissional responsável pela inspeção. Por esse motivo, este artigo propôs contribuições aos procedimentos de inspeção de pontes e viadutos em estruturas metálicas, considerando as literaturas nacionais e internacionais complementares e, também, a larga experiência da engenharia brasileira acerca do tema.

Referências

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS – AASHTO LRFD: Bridge Design Specification. Washington, Estados Unidos, 2017.
- AMERICAN RAILWAY ENGINEERING AND MAINTENANCE OF WAY ASSOCIATION - AREMA. Bridge Inspection Handbook. United States of America, 2013.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D 610 Standard Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces. 2001. Pensilvânia, EUA, 2001.
- AMERICAN WELDING SOCIETY – AWS D1.5M/D1.5:2020: Bridge Welding Code. 21 ed. Miami, Estados Unidos, 2020.
- ANDREUCCI, R. Ensaio por Partículas magnéticas. Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção, São Paulo, p. 1-66, 2007.
- ARAUJO, C. J. R. V. Principais aspectos abordados na ABNT NBR 9452: 2016, a importância das atividades de manutenção em pontes e viadutos e as dificuldades das condições de acesso às inspeções. Revista IPT Tecnologia e Inovação, [S.L.], v. 1, n. 5, p. 18-40, 2017. Revista IPT: Tecnologia e Informação. <http://dx.doi.org/10.34033/2526-5830-v1n5-3>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10443: Tintas e vernizes – Determinação da espessura da película seca sobre superfícies rugosas – Método de ensaio. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- _____. NBR 11003: Tintas — Determinação da aderência. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- _____. NBR 15307: Ensaios não destrutivos – Provas de cargas dinâmicas em grandes estruturas - Procedimento. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- _____. NBR 15691: Ensaios não destrutivos – Líquido penetrante – Prática padronizada. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- _____. NBR 16617: Ensaios não destrutivos – Partícula magnética – Qualificação de procedimento. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- _____. NBR 16694: Projeto de pontes rodoviárias de aço e mistas de aço e concreto. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- _____. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- _____. NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento. 4 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- CEREMA. Exécution des structures en acier: compléments techniques transitoires pour la bonne application. Fascicule 66, République Française, 2022.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE - DNIT. Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias. 2. ed. Rio de Janeiro. 2004.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE - DNIT. Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários. Rio de Janeiro. 2010.
- EUROPEAN UNION, EN 1993-2 (2006), Eurocode 3: Design of steel structures - Part 2: Steel Bridges, 2006.
- FONSECA, W. D. A. Proposta de manual de inspeção de pontes metálicas ferroviárias. 2018. 45 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, MG, 2018.
- GNECCO, C.; MARIANO, R.; FERNANDES, F. Tratamento de superfície e pintura. Rio de Janeiro: IBS/SBCA, 2003.
- ISO 14963 - Mechanical vibration and shock — Guidelines for dynamic tests and investigations on bridges and viaducts. ISO/TC 108/SC 2, 2003.
- ISO 18649 - Mechanical vibration — Evaluation of measurement results from dynamic tests and investigations on bridges. ISO/TC 108/SC 2, 2004.
- JULIANI, T. M. Detecção de danos em pontos em escala reduzida pela identificação modal estocástica. 2014. 189 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

- MARQUES, F. M. de S. Avaliação do comportamento estrutural e análise de fadiga em pontes metálicas ferroviárias. 2006. 270 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2006.
- MONTOYA, R. A. et al. Monitoração de pontes treliçadas nas ferrovias da Vale. II Encontro de Ferrovias. Vitória, ES. 2010.
- NEW YORK STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION – NYSDOT. Bridge Inspection Manual, 2021.
- POÇAS, R. de F. G. Gestão do ciclo de vida de pontes. 2009. 214 f. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) - Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2009.
- TEIXEIRA, R. M. Metodologias para modelagem e análise da fadiga em ligações rebitadas com aplicação em pontes metálicas ferroviárias. 2015. 312 f. Tese (Doutorado em engenharia de estruturas e geotécnica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2015.
- UNI 10985 - Vibrazioni su ponti e viadotti - Linee guida per l'esecuzione di prove e rilievi dinamici. UNI/CT 002, UNI/CT 002/SC 02, 2002.