

**Avaliação do estado de conservação de viadutos em concreto armado:
Estudo de caso da ferrovia Recife/Gravatá-PE**

*Assessment of the conservation status of reinforced concrete viaducts: A case study of
the Recife/Gravatá-PE railroad*

*Evaluación del estado de conservación de viaductos de concreto armado: Estudio de
caso de la vía férrea Recife/Gravatá-PE*

Adegilson José Bento

Mestre, UPE, Brasil.

Professor Mestre, UNIFACOL, Brasil.

adegilsonjose19@gmail.com

Eliana Cristina Barreto Monteiro

Professora Doutora, UPE, Unicap, Brasil.

eliana@poli.br

RESUMO

A deterioração de monumentos da engenharia, como pontes e viadutos, é um problema global. A solução reside na manutenção e conservação dessas estruturas, mediante o entendimento real de suas condições e inspeções periódicas. O objetivo do trabalho foi avaliar o estado geral de conservação dos viadutos, Obras de Arte Especiais (OAE's) situadas no trecho tombado da estrada ferroviária, Linha Tronco Centro de Pernambuco – LTCPE. Para conduzir sistematicamente o estudo, adotou-se o método de levantamento prescrito pela NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2023), dividindo-o em inspeção cadastral (preliminar) e detalhada, incluindo o "mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos os elementos aparentes e/ou acessíveis da OAE" (ABNT, 2023, p. 5). Os resultados revelaram problemas como acúmulo de água, sedimentos, manchas e eflorescências, além de infiltração de água no interior do concreto, atribuídos à drenagem deficiente ou ausente pela concepção incorreta do sistema e à falta de manutenção. Identificou-se ainda deterioração do concreto, corrosão de armaduras, com manchas de corrosão, fissuras e exposição de armaduras, causados pela carbonatação originada por erros de projeto (recobrimento insuficiente) e/ou por erros de execução (cofragem, betonagem e descofragem). Esses problemas podem ser corrigidos inicialmente com manutenções corretivas, reparo das áreas afetadas e melhoramento do sistema de drenagem, preenchimento ou selagem de fissuras, colocação de sistemas de drenagem eficientes, e outros trabalhos de reparo. Um estudo de estabilidade dessas estruturas é crucial para garantir soluções duradouras.

PALAVRAS-CHAVE: Inspeção. Obra de arte especial. OAE. Viadutos.

SUMMARY

The deterioration of engineering landmarks, such as bridges and viaducts, is a global issue. The solution lies in the maintenance and conservation of these structures, through a real understanding of their conditions and periodic inspections. The objective of the study was to assess the overall state of conservation of viaducts, Special Artworks (SA's) located in the designated section of the railway, Linha Tronco Centro de Pernambuco – LTCPE. To systematically conduct the study, the survey method prescribed by NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2023) was adopted, divided into cadastral (preliminary) and detailed inspections, including the "graphic and quantitative mapping of anomalies of all visible and/or accessible elements of the OAE" (ABNT, 2023, p. 5). The results revealed issues such as water accumulation, sedimentation, stains, and efflorescence, along with water infiltration into the concrete, attributed to deficient or absent drainage due to incorrect system design and lack of maintenance. Concrete deterioration, corrosion of reinforcements with corrosion stains, fissures, and exposure of reinforcements were also identified, caused by carbonation originating from design errors (insufficient covering) and/or execution errors (formwork, concrete pouring, and form removal). These issues can be initially addressed through corrective maintenance, repair of affected areas, improvement of the drainage system, filling or sealing of fissures, installation of efficient drainage systems, and other repair works. A stability study of these structures is crucial to ensure long-lasting solutions.

KEYWORDS: Inspection. Special work of art. SWA. Viaducts.

RESUMEN

La deterioración de monumentos de ingeniería, como puentes y viaductos, es un problema global. La solución radica en el mantenimiento y conservación de estas estructuras, a través de la comprensión real de sus condiciones e inspecciones periódicas. El objetivo del trabajo fue evaluar el estado general de conservación de los viaductos, Obras de Arte Especiales (OAE) ubicadas en el tramo designado de la vía férrea, Linha Tronco Centro de Pernambuco – LTCPE. Para llevar a cabo el estudio de manera sistemática, se adoptó el método de levantamiento prescrito por la NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2023), dividiéndolo en inspección catastral (preliminar) y detallada, que incluye el "mapeo gráfico y cuantitativo de las anomalías de todos los elementos visibles y/o accesibles de la OAE" (ABNT, 2023, p. 5). Los resultados revelaron problemas como acumulación de agua, sedimentos, manchas y eflorescencias, además de infiltración de agua en el interior del concreto, atribuidos a una drenaje deficiente o ausente debido a la concepción incorrecta del sistema y la falta de mantenimiento. También se identificó la deterioración del concreto, corrosión de armaduras, con manchas de corrosión, fisuras y exposición de armaduras, causados por la carbonatación originada por errores de diseño (recubrimiento insuficiente) y/o por errores de ejecución (encofrado, hormigonado y desencofrado). Estos problemas pueden corregirse inicialmente mediante mantenimiento correctivo, reparación de áreas afectadas y mejora del sistema de drenaje, relleno o sellado de fisuras, instalación de sistemas de drenaje eficientes, y otros trabajos de reparación. Un estudio de la estabilidad de estas estructuras es crucial para garantizar soluciones duraderas.

PALABRAS CLAVE: Inspección. Obra de arte especial. OAE. Viaductos.

1 INTRODUÇÃO

A deterioração e o aumento dos riscos ligados a falta de manutenção das obras de arte especiais – OAE's, como pontes e viadutos, é um problema nacional fruto da carência de estratégias públicas voltadas a sua conservação (SILVA; MONTEIRO; VITÓRIO, 2018).

Mesmo com a evolução dos métodos construtivos e de projetos, ainda acontecem colapsos de pontes em todo o mundo, alguns com vítimas fatais. A seguir está apresentada a cronologia dos acidentes mais graves em OAE's nos últimos 10 anos (Quadro 1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**):

Quadro 1 - Cronologia dos acidentes mais graves em OAE's.

Data	Obra	Local	Vítimas fatais
1º de julho de 2013	Ponte que caiu no Rio Piracicaba	São Paulo, Brasil	5
10 de junho de 2014	Desabamento de uma ponte de cabos no estado indiano de Gujarat	Surat – Gujarat, Índia	10
3 de julho de 2014	Desabamento do viaduto de BH	Belo Horizonte - MG, Brasil	1
3 de agosto de 2016	Ponte desabou devido a fortes chuvas perto do distrito de Raigad	Maharashtra, Índia	28
9 de março de 2017	Queda de Viaduto na autoestrada	Província de Ancona, Itália	2
14 de ago. de 2018	Desabamento da Ponte Morandi	Gênova – Ligúria, Itália	43
14 de março de 2019	Passarela desmorona perto de estação em Mumbai	Mumbai, Índia	6
8 de agosto de 2019	Parte de viaduto cai na Zona Norte do Rio	Rio de Janeiro, Brasil	2
2 de maio de 2021	Desmoronamento do viaduto do metrô da Cidade do México	Tláhuac - Cidade do México, México	24
28 de abril de 2022	Ponte sobrecarregada desabou no rio Loboc	Loay - Bohol, Filipinas	4
28 de set. de 2022	Desabamento de ponte na BR-319	Careiro, Brasil	3
30 de outubro de 2022	Reaberta após reformas, ponte suspensa do século XIX desaba	Morbi - Gujarat, Oeste da Índia	Mais de 141
11 de junho de 2023	Colapso da rodovia Interestadual 95, após Incêndio de caminhão-tanque	Rota 73 da Pensilvânia - Filadélfia, Estados Unidos	1

Fonte: Adaptado de Wikipedia (2024)¹

De modo geral, muitas dessas estruturas são implantadas sobre vias urbanas, ou rodovias, quase sempre expostas a um intenso tráfego de veículos perpendiculares ou esconsos, sob as suas superestruturas. Isso faz com que os elementos estruturais mais próximos das vias corram o risco de receberem choques de veículos, para os quais não foram dimensionados.

Todos esses incidentes demonstram a necessidade de melhorar e ampliar os conhecimentos da construção civil em patologia, inspeção, diagnóstico e recuperação de estruturas e o controle sobre as causas e mecanismos responsáveis pelos processos de deterioração para minimizar o número de acidentes e os graves problemas em OAE's.

As OAE's sempre estarão sob os efeitos do envelhecimento natural, e identificar o real estado de conservação das estruturas de concreto armado é a etapa inicial para ser possível manter a vida útil desejada, possibilitar a promoção de práticas de manutenção adequadas para a conservação das mesmas e evitar acidentes com danos fatais.

¹ **Wikipedia.** List of bridge failures. 2024. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_bridge_failures>. Acesso em: 31 jan. 2024.

O presente trabalho pretende analisar as condições estruturais, funcionais e de durabilidade de viadutos ferroviários do trecho situado no município de Gravatá-PE, que fazem parte da Estrada de Ferro Central de Pernambuco (Linha Tronco Centro) e determinar o seu estado de conservação.

2 CONCRETO ARMADO E AS OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Existe uma grande necessidade de monitoramento e manutenção da integridade das OAE's de concreto armado, fator essencial para garantir a segurança oferecida diariamente, estruturas estas que estão presentes no dia-a-dia de muitos usuários. Mesmo assim, é notável o descaso dos órgãos responsáveis, como o poder público, em manter a operação e manutenção destas estruturas, que se tornam mais complexas e onerosas com o aumento da idade (CHANG; FLATAU; LIU, 2003; REHMAN *et al.*, 2016; GIBB *et al.*, 2018).

Segundo a *Federal Highway Administration – FHWA* (2017) cerca de 25% das pontes no Canadá e cerca de 7,7% nos Estados Unidos encontram-se em péssimas condições de uso. Estima-se que no Canadá sejam necessários US \$50 bilhões para substituir todos esses ativos e que até 2025 as recuperações das OAE's vão custar aos Estados Unidos US \$3,9 trilhões (*American Society of Civil Engineers – ASCE*, 2016).

Não há um conhecimento profundo do estado geral do conjunto de todas as OAE's brasileiras. Estima-se um patrimônio nacional de cerca de 120 mil pontes, mas as rodovias brasileiras são divididas em três níveis governamentais (federais, estaduais e municipais), acrescidos ainda do setor privado (MENDES, 2009). Em nível federal, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, possui atualmente sob sua jurisdição 6.151 estruturas (DNIT, 2020).

Através da análise dos últimos cinco anos do relatório de Gestão do DNIT, constatou-se que foram realizadas até o mês de dezembro de 2020, cerca de 4.646 inspeções de OAE, mas para maio de 2021 a previsão é que o total das OAE sob a jurisdição do órgão sejam inspecionadas, perfazendo o montante de 6.151 obras e todas elas constando no banco de dados do Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais – SGO (DNIT, 2020). Esse número melhorou em comparação com os anos, mesmo assim, para o total de cerca de 4.646 foi possível estimar o estado crítico de conservação de somente 19,43% (903 obras). Isso demonstra que nenhuma das normas citadas vinha sendo seguida nos últimos 5 anos, mas que o cenário apresenta uma melhora no último ano.

Mesmo com os esforços em nível federal, no Brasil ainda não é comum a cultura de inspeção e reparo de OAE's, sendo realizadas, muitas vezes, apenas em último caso, quando as estruturas se encontram em estado crítico. Os países desenvolvidos já estão utilizando efetivamente os sistemas de gerenciamento e conservação de OAE's, por exemplo, o Departamento de Transporte de Nevada (Nevada DOT ou NDOT). Na América do Norte normalmente as inspeções acontecem em intervalos de 24 meses, conforme exigido pelas normas nacionais. Nos Estados Unidos da América a cada dois anos quase 600.000 pontes são inspecionadas e, dependendo da condição, passam por reparos para manter sua vida útil. No restante do mundo são adotados outros intervalos na realização de inspeção como 48, 72 meses ou até mais (NASROLLAHI; WASHER, 2014; PINES; AKTAN, 2002).

3 INSPEÇÃO EM OBRAS DE ARTES ESPECIAIS

Embora estejam disponíveis no mercado diversos métodos e equipamentos para a realização de inspeção, como demonstrado pelos autores Stochino, Fadda e Mistretta (2018), Rashidi, Samali e Sharafi (2016), Rehman *et al.* (2016); Stanislav *et al.* (2016) e Hesse, Atadero e Ozbek (2015), a inspeção visual é a técnica mais utilizada nesse tipo de avaliação, visto que possui uma metodologia simples que não inclui apenas o levantamento das manifestações patológicas, mas também suas características construtivas e detalhes das condições ambientais em que está inserida. Consiste muitas vezes de levantamentos feitos a olho nu ou até mesmo com auxílio de máquinas de filmar, ou fotográficas, equipamentos do mesmo modo simples, favorecendo sua ampla adoção (SALES *et al.*, 2018; XIE, 2018; PUSHPAKUMARA; SILVA, S.; SILVA, G., 2017).

Para isso foram criadas regulamentações por todo o mundo, que reúnem as diretrizes para garantir a efetividade das práticas de inspeção, estabeleçam metodologias padronizadas, fornecendo diretrizes para que os procedimentos resultem em dados uniformes e confiáveis. Segundo Sales *et al.* (2018, p. 292)“ em países como os Estados Unidos, Canadá e o Reino Unido são utilizados guias de inspeção visual, por exemplo, o *Strategic Highway Research Program* (SHRP) ou o *The Concrete Bridge Development Group Technical Guide 2 [...]*”; no Brasil, para inspeção de OAE's, às duas principais normativas para a inspeção são a NBR 9452 (ABNT, 2023): Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento e DNIT 010/2004-PRO (DNIT, 2004): Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido.

4 MÉTODO DE INSPEÇÃO

O trecho de estudo trata-se de um segmento tombado da LTCPE, localizado no município de Gravatá, onde será verificado o estado de conservação dos 6 viadutos em concreto armado que compõem o trecho. As inspeções foram realizadas entre os meses de abril de 2021 a julho de 2021.

Com o intuito de realizar de forma sistemática o estudo em questão será adotado o método de levantamento prescrito pela NBR 9452 (ABNT, 2023), que caracteriza os procedimentos para inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto.

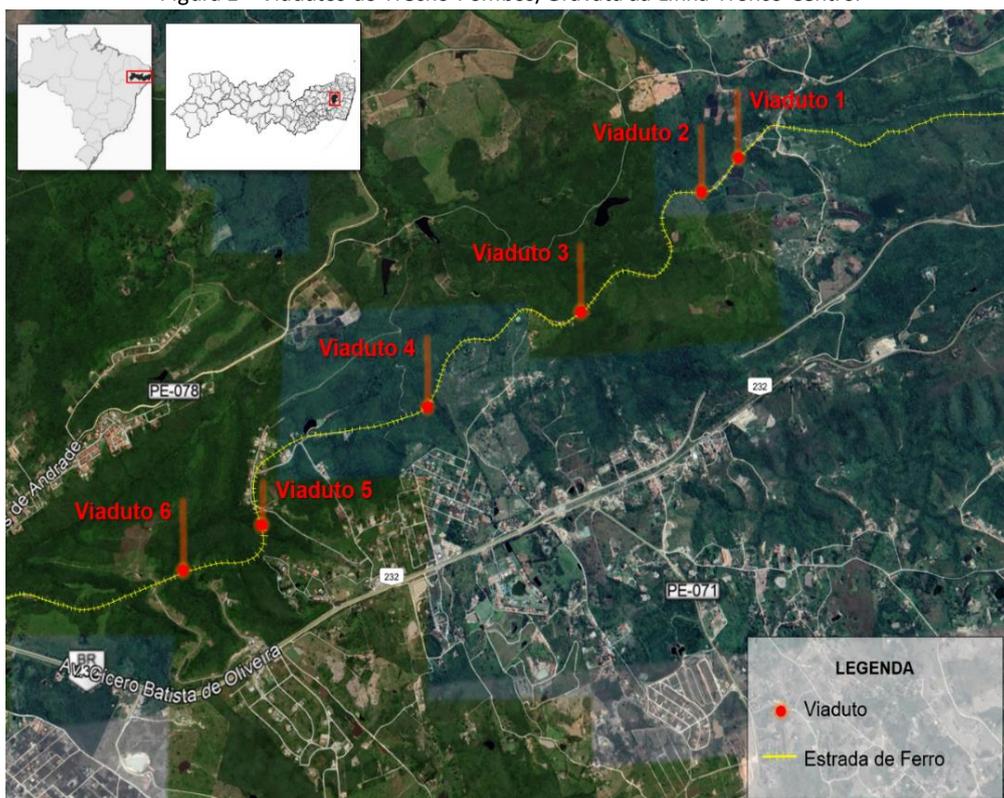
Os procedimentos previstos nesta norma são usualmente adotados no Brasil para identificar e diagnosticar as principais anomalias existentes nas estruturas em questão. A rotina deste método terá início com uma inspeção cadastral (preliminar) e será posteriormente realizada uma inspeção detalhada, como descreve a NBR 9452 (ABNT, 2023, p. 5), apresentando o “mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos os elementos aparentes e/ou acessíveis da OAE”.

O campo de estudo, para desenvolvimento do presente trabalho, está localizado na LTCPE, mais precisamente no trecho de transposição da Serra das Russas em Gravatá, cuja forte relação histórica da população do Estado de Pernambuco levou ao seu tombamento como marco da engenharia que esta ferrovia do século XIX representa, em razão da construção de seus diversos túneis e viadutos, OAE's, que garantiram que o segmento da Estrada de Ferro Recife/Gravatá, fosse tombado através do Decreto Estadual n.º 11.238, de 1986, pelo governo estadual, iniciativa da Fundação do Patrimônio Histórico e Artístico de Pernambuco – FUNDARPE

(PERNAMBUCO, 1986). O trecho em questão, localizado entre os quilômetros 51,54 (Pombos) e o 76,04 (Gravatá) da ferrovia, tem cerca de 25 km de extensão ao todo.

No que diz respeito às OAE's (viadutos), foco do presente estudo, O trecho ferroviário de tombamento na Serra das Russas, com cerca de 17 quilômetros de extensão, foi construído no fim do século XIX entre 1886 e 1894. Neste período de 8 anos foram construídos os 21 túneis e 9 viadutos, que posteriormente se reduziram em 14 túneis e 6 viadutos, visto que 7 túneis foram transformados em céu aberto e 3 viadutos aterrados (Figura 1).

Figura 1 – Viadutos do Trecho Pombos/Gravatá da Linha Tronco Centro.



Fonte: Adaptado do Google Maps (2020)².

Os viadutos do trecho tiveram suas estruturas metálicas originais feitas em peças pré moldadas de ferro pudlado, substituídas por concreto entre os anos de 1945 e 1947 pela Great Western. Em 1986, o trecho ferroviário compreendido entre Recife e Gravatá foi tombado, através do Decreto Estadual nº 11.238, por se constituir um marco da engenharia no estado de Pernambuco (PERNAMBUCO, 1986).

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

² Google Maps. -8.193904237245006, -35.517487193131245. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-8.1824213,-35.5073169,4420m/data=!3m1!1e3>. Acesso em: 25 jan. 2020.

As informações constantes neste item foram levantadas pela inspeção visual de campo. Os dados levantados atendem às recomendações da NBR 9452 (ABNT, 2023) para uma vistoria inicial cadastral.

Não foi localizado o projeto original nem os registros de vistorias anteriores, apenas foram encontrados no IPHAN (2009) o croqui da estrutura e suas dimensões por escrito.

5.1.1 Características Construtivas

Os Viadutos apresentavam características construtivas, sendo elas:

Alinhamento

- Alinhamento horizontal: estrutura de eixo reto;
- Declividade longitudinal: 0%;
- Sobrelevação transversal: 0%;
- Ângulo de transposição do obstáculo: travessia perpendicular ao eixo do vale, não há escondidade.

Material e execução

- Estruturas de encontro, super, meso e infraestrutura: de concreto armado moldado “in loco” com forma de madeira bruta, com exceção da infraestrutura em alvenaria de pedras.

Superestrutura

- Sistema estrutural longitudinal: viga contínua;
- Sistema estrutural transversal: laje sobre duas vigas;
- Laje: monolítica;
- Vigas longarinas: seção transversal constante nos vãos, apresentando aumento de altura nos apoios intermediários;
- Vigas transversinas de apoio: solidárias à laje, com altura igual à das vigas longarinas;
- Vigas transversinas de vão: não solidárias à laje, com altura inferior à das vigas longarinas e espessura inferior às vigas transversinas de apoio.

Mesoestrutura

- Pilares: apoio nos encontros e dois apoios intermediários. Pilares com linha de apoio sob o eixo das vigas longarinas;
- Aparelhos de apoio sobre os encontros (extremos): articulação fixa tipo Freyssinet;
- Aparelhos de apoio sobre os pilares (intermediários): articulação fixa tipo Freyssinet.

Infraestrutura

- Blocos: um bloco em alvenaria de pedras por linha de apoio (um sob cada pórtico). Dois blocos em cada extremo (um para apoios extremos da superestrutura e um para sustentação dos muros de arrimo e muros de ala dos encontros).

Extremos

- Estruturas de encontro: muro de arrimo, muros de ala e apoio da superestrutura;
- Taludes laterais: declividade variável de 1:3 a 1:5, com vegetação natural, sem proteção superficial.

Drenagem do tabuleiro e dos encontros

- Tabuleiro: buzinetes curtos de PVC no fundo da laje;

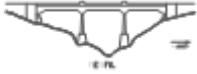
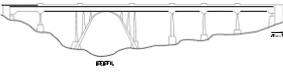
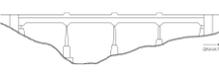
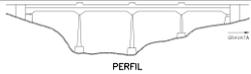
- Encontros: não há dispositivos de condução de águas pluviais ou de proteção superficial dos taludes contra erosão.

Juntas de dilatação do tabuleiro

- Juntas entre o tabuleiro e as estruturas de encontro sem vedação.

A Quadro 2 apresenta as principais diferenças nas estruturas.

Quadro 2 - Relação de Obras de Arte especiais e características construtivas.

	Croqui	Vista	Número e comprimento dos vãos	Altura máxima	Pilares	Elementos acessórios
Viaduto 1			3 (20,25/ 20,25/ 22,00 m)	22,00 m	Pilares de estrutura reticulada constituído por um pórtico de duas colunas	Existem 4 refúgios (dois em cada lateral).
Viaduto 2			3 (20,25/ 20,25/ 22,00 m)	21,50 m	Pilar-parede enrijecido	Existem 4 refúgios (dois em cada lateral).
Viaduto 3			7 (20,25/ 23,00/ 40,00/ 23,00/ 20,25/ 22,00/ 23,00 m)	40,00 m	Pilares de estrutura reticulada constituído por um pórtico de duas colunas	Existem 12 refúgios (seis em cada lateral).
Viaduto 4			4 (22,00/ 22,00 / 20,25/ 20,25 m)	23,00 m	Pilares de estrutura reticulada constituído por um pórtico de duas colunas	Existem 6 refúgios (três em cada lateral)
Viaduto 5			4 (22,10/ 22,10/ 20,25/ 20,25 m)	31,00 m	Pilares de estrutura reticulada constituído por um pórtico de duas colunas	Existem 6 refúgios (três em cada lateral)
Viaduto 6			4 (22,00/ 20,70/ 20,25/ 20,25 m)	24,00 m	Pilares de estrutura reticulada constituído por um pórtico de duas colunas	Existem 6 refúgios (três em cada lateral)

5.1.2 Quadro Patológico

Na vistoria, foram levantados os problemas existentes e os possíveis mecanismos de deterioração, suas causas e extensão. A seguir será mostrado o mapeamento das manifestações patológicas detectadas no viaduto, mediante a inspeção visual. Mas antes, a

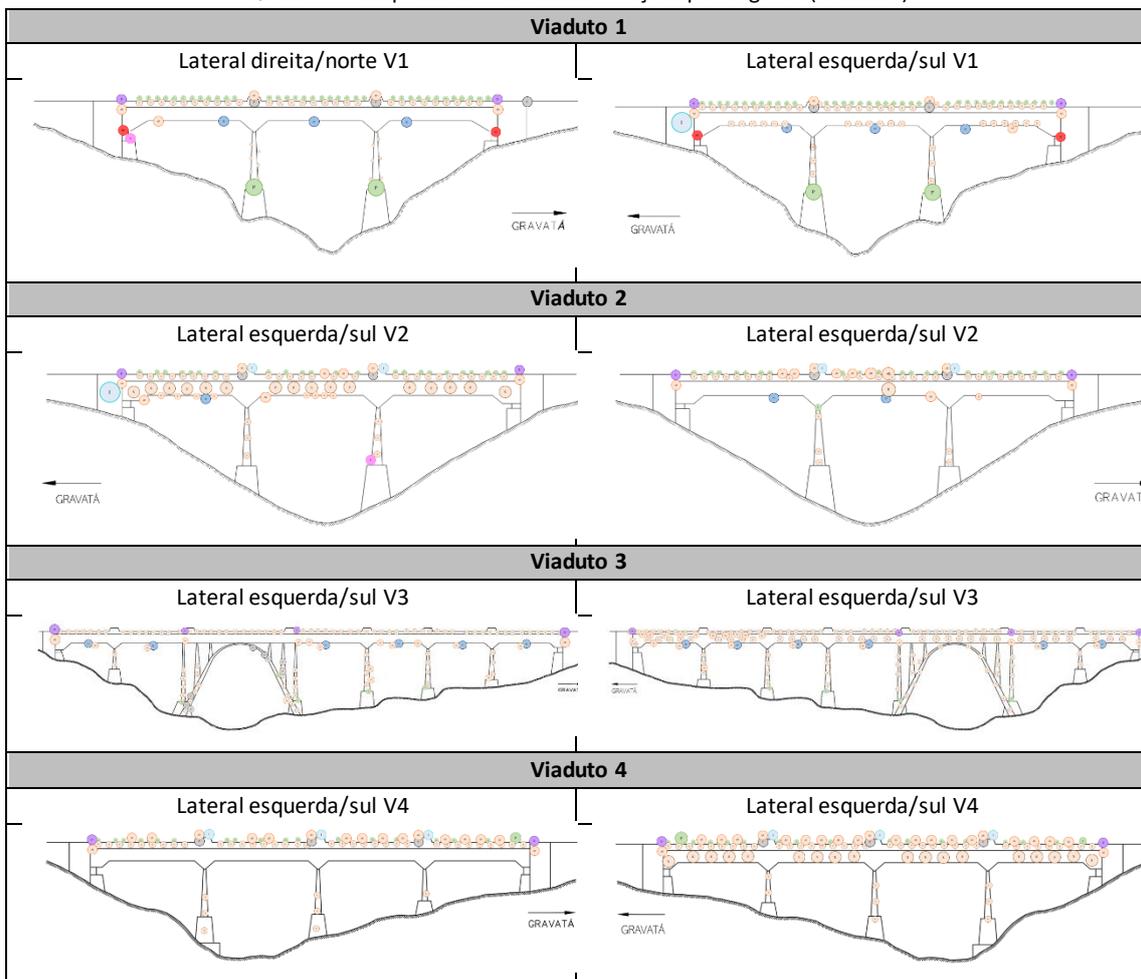
Figura 2 apresenta a legenda empregada na representação de tais manifestações.

Figura 2 – Legenda das manifestações patológicas detectadas.

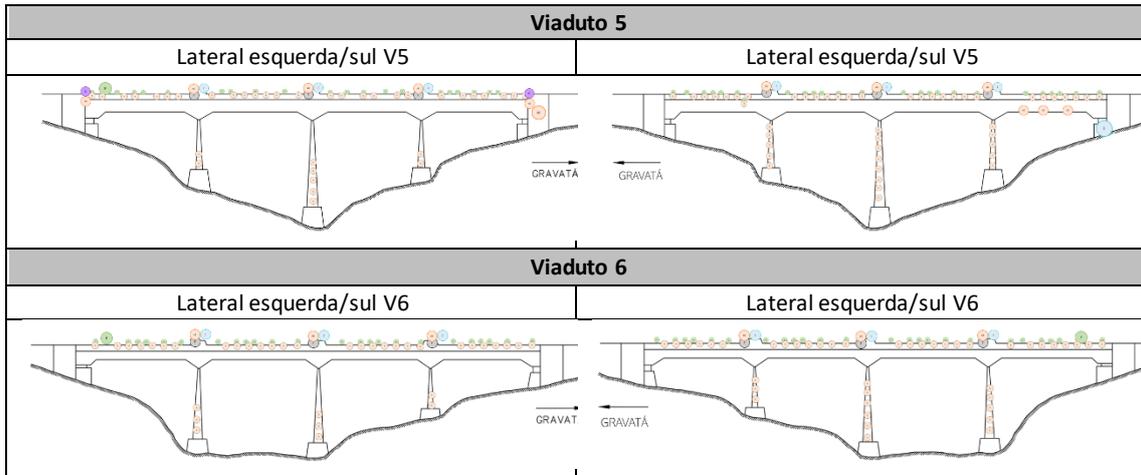
- | | |
|---|--|
|  Acúmulo de água e/ou sedimentos |  Infiltração |
|  Armadura exposta |  Irregularidade no concreto |
|  Destacamento do concreto |  Obstrução de dreno |
|  Deterioração do concreto |  Presença de vegetação |
|  Eflorescência |  Sujidades |
|  Fissuração no concreto | |

O Erro! Fonte de referência não encontrada. apresentam as vistas: lateral direita e lateral esquerda dos viadutos, respectivamente.

Quadro 3 – Mapeamento das manifestações patológicas. (continua)



Quadro 3 – Mapeamento das manifestações patológicas. (conclusão)



As condições gerais de conservação da estrutura observada na inspeção preliminar são (Quadro 4):

Quadro 4 – Manifestações patológicas identificadas. (continua)

Localização	Manifestação patológica	Figura
Superestrutura	<p>Corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos (I) e na região dos apoios intermediários das vigas longarinas (II). Fissuras e destacamento do concreto. Concreto deteriorado e armaduras expostas no fundo das vigas longarinas em todos os viadutos.</p>	<p>I - Corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos do V1.</p> 
		<p>II - Corrosão de armaduras em estágio avançado nos vãos centrais do V3.</p> 
		<p>Juntas de dilatação: Não apresentam vedação. Não havia acesso para exame dos elementos de concreto sob as juntas.</p>

Quadro 4 – Manifestações patológicas identificadas. (continua)

Loc.	Manifestação patológica	Figura
<p style="text-align: center;">Mesoestrutura</p>	<p>Concreto deteriorado e presença de vegetação, mofo e bolor. Pilares de estrutura reticulada com armadura exposta por falta de cobrimento (III).</p>	<p>III – Armadura exposta por erro de concretagem, aço sem cobrimento suficiente no V3.</p>
		
<p style="text-align: center;">Infraestrutura</p>	<p>Presença de vegetação e manchas brancas com indício de lixiviação (IV). Corrosão de armaduras em estágio avançado nos blocos. Fissuras e destacamento do concreto. Concreto deteriorado e armaduras expostas.</p>	<p>IV – Presença de vegetação e manchas brancas indício de lixiviação no V2.</p>
		
<p style="text-align: center;">Aparelhos de apoio:</p>	<p>os aparelhos de apoio móveis encontram-se totalmente esmagados (V), em alguns casos impossibilitando a sua visualização e identificação. Concreto deteriorado e presença de vegetação, mofo e bolor.</p>	<p>V – Aparelhos de apoio esmagados no V2.</p>
		
<p style="text-align: center;">Elementos acessórios:</p>	<p>As estruturas dos refúgios apresentam fissuras e trincas nas laterais, com destacamento do concreto, concreto deteriorado e armaduras expostas (VI). Fissura no engastamento entre os refúgios e a viga longarina.</p>	<p>VI – Refúgios apresentando fissuras e armaduras expostas no V4.</p>
		

Quadro 4 – Manifestações patológicas identificadas. (conclusão)

Loc.	Manifestação patológica	Figura
Encontros	As estruturas de contenção dos aterros dos encontros apresentam fissuras e trincas na parte superior das paredes laterais, com presença de umidade (VII e VIII), e os taludes dos encontros estão em boas condições.	VII – Encontros com fissuração, destacamento e armadura exposta no V5.
		
		VIII – Fissuração nas estruturas de dos encontros do V2.
		
Drenagem	Os tubos instalados no fundo da laje não parecem obstruídos, mas há manchas de umidade e fungos no entorno dos furos de drenagem e em áreas próximas, revelando a ineficiência do sistema (IX e X).	IX – Fundo da com fissuração, destacamento e armadura exposta no V5, causado por infiltração.
		
		X – Manchas de umidade e fungos nos furos de drenagem do V3.
		

Embora seja possível identificar muitas manifestações patológicas, a o que se apresenta em estado mais avançado, quanto à gravidade, urgência e tendência de evolução é a corrosão, dado que é notável a perda de seção em elementos estruturais, nesse caso.

5.1.3 Diagnóstico

Na avaliação das vistorias das obras, realizadas para este estudo, foram utilizados os parâmetros de notas da norma NBR 9452 (ABNT, 2023) e para fins de comparação, também foram utilizados os parâmetros de notas da norma DNIT 001/2004 – PRO (DNIT, 2004). As notas destas normas vão de 01 a 05, porém na NBR não é atribuído um único valor a obra e sim avalia três parâmetros diferentes, estrutural, funcional e durabilidade enquanto a metodologia do DNIT utiliza a atribuição de uma nota de avaliação para cada elemento componente conforme com a gravidade das manifestações patológicas.

Foi atribuída para as obras estudadas a nota caso a tipologia da vistoria executada fosse a rotineira, considerando a realização dos ensaios. Na Tabela 1 a nota estrutural, considerando à presença de fissura em elemento secundário de concreto armado e armadura principal exposta e corroída em elemento principal com perda de seção. Embora se trate de um trecho desativado, não foram detectadas evidências que penalizassem a nota funcional para a estrutura de concreto, portanto o valor dado foi 05, mas essa nota não considera a ferrovia ou a sua capacidade de operação. Ao parâmetro de durabilidade a nota conferida foi dada em consequência da presença de armadura exposta em elemento principal em processo evolutivo de corrosão.

Tabela 1 – Avaliação das estruturas.

NOTAS CONFORME O MÉTODO DA NBR 9452 (2023)							
PARÂMETRO	V1	V2	V3	V4	V5	V6	
ESTRUTURAL	3	3	2	3	3	2	
FUNCIONAL	5	5	4	5	5	4	
DURABILIDADE	3	3	2	3	3	2	
NOTAS CONFORME O MÉTODO DO DNIT (2004)							
PARÂMETRO	DANO	V1	V2	V3	V4	V5	V6
LAJE	Mancha de umidade	4	3	2	3	2	2
LONGARINAS	Destacamento do concreto e corrosão	3	3	2	3	2	2
ENCONTRO	Fissuras	3	3	2	3	2	2
DRENAGEM	Mancha de umidade ao redor dos furos	3	3	3	3	3	3
PILARES	Presença de vegetação, mofo e bolor.	4	3	3	3	3	3
TRANSVERSINA	Mofo e bolor.	3	3	3	3	3	3
AP. APOIO	Esmagados	3	3	3	3	3	3
BLOCOS	Vegetação	3	3	3	3	2	2
NOTA FINAL		3	3	2	3	2	2

Alguns elementos poderiam ser classificados com notas diferentes dependendo da coluna que se considerasse nos parâmetros DNIT. Por exemplo, no V1, no caso das longarinas, na coluna Dano no elemento/ Insuficiência estrutural, seria classificada como possuindo alguns

danos, mas sem sinais de que estivesse gerando insuficiência estrutural, possuindo dessa forma uma nota 4, já na coluna Ação corretiva, seria classificada como nota 3. Nesses casos optou-se pela nota menor que garantisse maior segurança. Desta forma, pode-se destacar a sensibilidade do método brasileiro a interferência de somente um defeito, pois o elemento mais danificado governa a nota final, 3. Sendo assim, a ponte foi classificada como estando boa aparentemente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso apresentado neste trabalho é uma pequena demonstração de como a ausência de manutenção resulta na deterioração das obras de concreto. As manifestações patológicas apresentadas foram em grande parte decorrentes da ausência de manutenção ao longo do tempo, principalmente pela condição de abandono em que se encontram as estruturas.

Constatou-se através das inspeções e mapas de danos elaborados que o viaduto mais danificado é o Viaduto 3, por sua complexidade de projeto e por estar mais suscetível à ação do homem, se tratando de ponto para prática de esportes de aventura como o rapel negativo, assim como os Viadutos 5 e 6, estando localizados em uma área menos protegida em relação aos demais, ficando mais suscetível às ações dos agentes agressivos.

A nota final atribuída as estruturas de acordo com os parâmetros estabelecidos pela NBR 9452 (ABNT, 2023), foi nota estrutural 3, funcional 5 e durabilidade 3 para os Viadutos 1, 2 e 4, e nota estrutural 2, funcional 4 e durabilidade 2 para os Viadutos 3, 5 e 6. Quanto instrução normativa do DNIT 001/2002 – PRO (BRASIL, 2004), optando pela nota menor que garantisse maior segurança, foi nota 3 (boa aparentemente) para os Viadutos 1, 2 e 4 e nota 2 (sofável) para os Viadutos 3, 5 e 6.

Verificou-se que as principais anomalias são a acumulação de água e/ou sedimentos, manchas e eflorescências, infiltração de água no interior concreto, sendo a origem congênita ou construtiva, causas pela drenagem deficiente ou ausência de órgãos de drenagem pela concepção incorreta do sistema de drenagem e a falta de manutenção. Foi possível identificar ainda deterioração do concreto, corrosão de armaduras, com aparecimento de manchas de corrosão, fissuras e exposição de armaduras, causados pela carbonatação de origem relacionada a erros de projeto (recobrimento insuficiente) e/ou por erros de execução (cofragem, betonagem e descofragem), drenagem insuficiente e pela falta de manutenção.

É de extrema importância determinar se na atual condição em que se encontram, as estruturas oferecem algum risco para a população, além de embasar um prognóstico a ser adotado visando garantir integridade das OAE's e possibilitar a reativação do trecho, favorecendo ainda mais o turismo na região.

Os problemas encontrados, na maioria dos casos podem ser corrigidos, a princípio, com manutenções corretivas com reparo das áreas afetadas e melhoramento do sistema de drenagem, preenchimento ou selagem de fissuras, colocação de sistemas de drenagem eficientes e outros trabalhos de reparação, sendo ainda importante um estudo da estabilidade da estrutura.

Ainda como conclusão é possível dizer que a utilização da NBR 9452 (ABNT, 2023) como norteador para a realização de inspeções visuais, se trata de uma ferramenta que atende

aos objetivos propostos e garante uma sistemática na execução da atividade, promovendo assim bons resultados.

Em conclusão entende-se que embora a deterioração de grandes monumentos da engenharia como pontes e viadutos seja um problema mundial, a solução está na manutenção e conservação dessas estruturas, através do real entendimento de suas condições através de inspeções periódicas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho desenvolvido na Universidade de Pernambuco e contou com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil - (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9452**: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS - ASCE. **Failure to act report** - Closing the infrastructure investment gap for America's economic future, 2016. Disponível em: <https://www.asce.org/failuretoact/> Acesso em: 30 set. 2019.

CHANG, P. C.; FLATAU, A.; LIU, S. C. Health monitoring of civil infrastructure. **Structural health monitoring**, California, v. 2, p. 257-267. 2003. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Lei/L11771.htm. Acesso em: 10 out. 2019.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **DNIT 010/2004 – PRO**: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Relatório de Gestão 2020**. Rio de Janeiro, 2020.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION - FHWA. **National Bridge Inventory (NBI)**. 2017. Disponível em: <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/nbi.cfm>. Acesso em: 03 nov. 2019.

GIBB, S. *et al.* Nondestructive evaluation sensor fusion with autonomous robotic system for civil infrastructure inspection. **Journal of Field Robotics**, Pittsburgh, v. 35, n. 6, p. 988-1004, 2018. DOI: 10.1002/rob.21791

HESSE, A. A.; ATADERO, R. A.; OZBEK, M. E. Uncertainty in common NDE techniques for use in risk-based bridge inspection planning: Existing data. **Journal of Bridge Engineering**, Nova York, v. 20, n. 11, p. 04015004_1-04015004_8, 2015. DOI: 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000733

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL - IPHAN. **Inventário do Patrimônio Ferroviário de Pernambuco**. Recife: IPHAN, 2009.

MENDES, P. T. C. **Contribuições para um modelo de gestão de pontes de concreto aplicado à rede de rodovias brasileiras**. 2009, 235 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. DOI: 10.11606/T.3.2009.tde-29062009-103830

NASROLLAHI, M.; WASHER, G. Estimating inspection intervals for bridges based on statistical analysis of national bridge inventory data. **Journal of Bridge Engineering**, Nova York, v. 20, n. 9, p. 04014104_1 – 04014104_11, 2014. DOI: 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000710

PERNAMBUCO. Decreto nº 11.238, de 11 de março de 1986. Homologa Resolução do Conselho Estadual de Cultura, de tombamento do trecho ferroviário compreendido entre Recife e Gravatá, neste Estado. **Diário Oficial**, Recife, 11 de março de 1986.

PINES, D.; AKTAN, A. E. Status of structural health monitoring of long-span bridges in the United States. **Progress in Structural Engineering and materials**, [s. l.], v. 4, p. 372-380, 2002. DOI: 10.1002/pse.129

PUSHPAKUMARA, B. H. J.; SILVA, S.; SILVA, G. H. M. J. S. Visual inspection and non-destructive tests-based rating method for concrete bridges. **International Journal of Structural Engineering**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 74-91, 2017. DOI: 10.1504/IJSTRUCTE.2017.081672

RASHIDI, M.; SAMALI, B.; SHARAFI, P. A new model for bridge management: Part A: condition assessment and priority ranking of bridges. **Australian Journal of Civil Engineering**, Australia, v. 14, n. 1, p. 35-45, 2016. DOI: 10.1080/14488353.2015.1092641

REHMAN, S. K. U. *et al.* Nondestructive test methods for concrete bridges: A review. **Construction and building materials**, Edimburgo, v. 107, p. 58-86, 2016. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.011

SALES, A. *et al.* **Corrosão e degradação em estruturas de concreto**: Teoria, controle e técnicas de análise e intervenção. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

SILVA, C. J. G.; MONTEIRO, E. C. B.; VITÓRIO J. P. A. Condições estruturais e funcionais de pontes e viadutos das rodovias federais de Pernambuco. **Revista ALCONPAT**, Mérida Yucatán, v. 8, n. 1, p. 79-93, jan./abr. 2018. Disponível em: <https://www.revistaalconpat.org/index.php/RA/article/view/199>. Acesso em: 25 de set. de 2019. DOI: 10.21041/ra.v8i1.199.

STANISLAV, R. *et al.* Inspection of Quality of Concrete of Load-bearing Structure, Bridge No. 121-007 Across Vltava River at Zvikov. **Procedia engineering**, [s. l.], v. 156, p. 466-472, 2016. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.322

STOCHINO, F.; FADDA, M. L.; MISTRETTA, F. Assessment of RC Bridges integrity by means of low-cost investigations. **Frattura ed Integrità Strutturale**, Italy, v. 12, n. 46, p. 216-225, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.46.20>

XIE, R. *et al.* Automatic multi-image stitching for concrete bridge inspection by combining point and line features. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 90, p. 265-280, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.021>