

Estado atual do monitoramento remoto no gerenciamento integrado de OAE no país

FÁBIO LUÍS PEDROSO - EDITOR - (fabio@ibracon.org.br) - <https://orcid.org/0000-0002-5848-8710> — IBRACON

No Brasil, existem cerca de 100 mil pontes e viadutos rodoviários, a maioria deles sem qualquer registro de avaliação de suas condições estruturais e funcionais. Esta negligência com essas obras de arte especiais (OAE) tem causado incidentes e acidentes graves, em alguns casos com perda de vidas de usuários que transitavam sobre elas.

Um caso que ganhou notoriedade no noticiário nacional e nas redes sociais foi o colapso da Ponte Juscelino Kubitschek de Oliveira, em 22 de dezembro de 2024, que levou à morte de 14 pessoas e ao desaparecimento de três pessoas. Apesar da estrutura ter sido inspecionada em 2020 e constar no relatório técnico problemas de risco estrutu-

ral e de desmoronamento, o tráfego sobre a ponte não foi interrompido nem houve qualquer procedimento de reforço para garantir sua segurança de funcionamento.

Apesar de se saber desde, pelo menos, a segunda metade do século XX que o concreto se deteriora por conta de mecanismos físicos, químicos, mecânicos e biológicos, a cultura no país, onde predomina as estruturas de concreto, até recentemente era não fazer manutenção das obras de concreto em uso. A Prefeitura de São Paulo não sabia, por exemplo, até 2021, quantas pontes, viadutos e pontilhões existiam no município. Só recentemente, com o Programa de Inspeção e Manutenção de OAE, é que essas estruturas passaram a ser in-

ventariadas e inspecionadas regularmente, e mais recentemente, monitoradas. Desde então, 1281 estruturas foram cadastradas, 2322 inspeções foram realizadas e 304 obras foram recuperadas, perfazendo um gasto de cerca de três bilhões de reais. Desde 2023, 770 OAE são contínua ou quinzenalmente monitoradas remotamente.

A maioria das OAE rodoviárias brasileiras foi construída entre as décadas de 1950 e 1970, quando não havia na norma brasileira de projeto de estruturas de concreto (ABNT NBR 6118) qualquer especificação para assegurar durabilidade das obras. O conceito de vida útil de projeto, isto é, de prazos seguros para o bom desempenho estrutural, apareceu, pela primeira vez, no Código Modelo de 1990 da Federação Internacional do Concreto Armado e foi incorporado na norma brasileira somente em 2021, bem como as medidas prescritivas para assegurá-lo, como consumo mínimo de cimento, limite máximo da proporção entre água e cimento (fator a/c), cobertura mínima das armaduras, entre outras. Em razão disso, atualmente 76% das OAE sob responsabilidade do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) apresentam algum tipo de deficiência em seu desempenho, sendo que 11% requerem reforço, recuperação ou substituição imediata (Tabela 1).

Além disso, quando a maioria dessas OAE foram construídas, a norma brasileira de ações devido ao tráfego de veículos rodoviários (ABNT NBR 7188) estabelecia limites de carga de apenas 24 e 36 toneladas para os veículos. Atualmente, com a evolução dos veículos de transporte, esta norma prevê cargas móveis de 45 toneladas. Segundo os registros do DNIT, apenas 24% de suas OAE têm



FIGURA 1

VIGA COM CONCRETO DISGREGADO E ARMADURA EXPOSTA E CORROÍDA COM PERDA DE SEÇÃO NA PONTE DOS REMÉDIOS SOBRE A MARGINAL TIETÊ, NA CIDADE DE SÃO PAULO

FONTE: SIURB

TABELA 1DISTRIBUIÇÃO DAS OAE DE RODOVIAS
FEDERAIS POR GRAU DE RISCO

Nota	Quantidade	Porcentagem
5	114	1%
4	3616	44%
3	2233	16%
2	753	9%
1	179	2%
Sem nota	1243	15%

FONTE: BD OAEs (SGE/PROARTE) — JULHO 2026

trem-tipo de 45 toneladas, sendo a maioria com trem-tipo de 36 toneladas (Tabela 2). Consequentemente, muitas pontes e viadutos em operação no país suportam atualmente carregamentos superiores aos previstos em seus projetos originais. “Adicionalmente, as OAE têm sofrido com as emissões de dióxido de carbono, que, em maiores concentrações, acelera a carbonatação do concreto, e com as mudanças climáticas, que têm tornado mais frequentes eventos extremos, como ventanias e inundações, que atuam na forma de esforços não previstos”, acrescenta o professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Eng. Túlio Bittencourt.

INSPEÇÕES, MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO DE PONTES, VIADUTOS E PASSARELAS

A inspeção visual e presencial é o procedimento padrão para a avaliação do estado de conservação de estruturas. Ela é padronizada pela norma brasileira de inspeção de pontes, viadutos e passarelas (ABNT NBR 9452), que estabelece diretrizes para a coleta de dados, classificação de danos e para emissão de relatórios de diagnóstico e prognóstico. A norma preconiza quatro tipos de inspeções:

TABELA 2DISTRIBUIÇÃO DAS OAE DE RODOVIAS
FEDERAIS POR TREM-TIPO

Total OAEs	8138	
SEM TR	1296	16%
TR24	705	9%
TR36	4216	52%
TR45	1921	24%

FONTE: BD OAEs (SGE/PROARTE) — JULHO 2026

- **Cadastral:** realizada na primeira inspeção logo após a conclusão da OAE ou quando houver alterações em sua configuração, como alargamento ou reforço estrutural;
- **Rotineira:** inspeção visual de acompanhamento periódico não superior a um ano à inspeção anterior;
- **Especial:** avaliação detalhada feita por equipe especializada, que analisa, por meio de ensaios destrutivos e não destrutivos, o estado de conservação, com periodicidade de cinco anos;
- **Extraordinária:** inspeção não programada, ocasionada por eventos atípicos, como um acidente, enchentes e sobrecargas.

Além dela, o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT, que estabelece procedimentos padronizados para o cadastro, a inspeção periódica, o registro dos danos, a avaliação dos elementos e o acompanhamento da evolução das condições das OAE, prevê também a inspeção intermediária, voltada ao acompanhamento de anomalias específicas. Ele determina que os danos devem ser registrados por elemento, localização, quantidade, extensão e estado de condição, e estabelece o Sistema de Gerenciamento de Estruturas (SGE) como a plataforma computacional destinada

a organizar os dados de cadastro e de avaliação das estruturas.

As inspeções regulares das estruturas de concreto são procedimentos eficazes para o gerenciamento adequado das OAE, na medida em que atribuem notas para as estruturas e, assim, possibilitam aos governos federal, estaduais e municipais e às concessionárias acompanhar anualmente a evolução de desempenho de seu estoque e a se programarem para o melhor momento de intervir para sua recuperação. Por exemplo, a nota 5 é a nota máxima, indicando bom desempenho da estrutura, sem necessidade de qualquer intervenção, mantendo-se seu acompanhamento por meio de inspeção anual; as notas 3 e 4 requerem medidas pontuais de recuperação da OAE, para restabelecer seu máximo desempenho; já, as notas 1 e 2 demandam inspeção especial e, em função do que indicar o relatório técnico, podem requerer projeto de reforço ou obras de recuperação; por fim, a nota 0, introduzida na última versão da ABNT NBR 9452, exige medidas emergenciais na OAE para mitigação de riscos.

A inspeção regular ensina a manutenção preventiva, que é o reforço ou recuperação da estrutura quando suas condições indicarem perda de desempenho estrutural e alto risco de colapso ou perda de funcionalidade. Este tipo de manutenção

**FIGURA 2**PONTE PEDRO AFONSO SOBRE O RIO TOCANTINS, NA BR-235/TO,
INTERDITA PARCIALMENTE APÓS INSPEÇÃO REALIZADA

FONTE: DNIT

é preferível à manutenção corretiva, que é a intervenção feita imediatamente à ocorrência de uma falha, com vistas à sua recuperação. Isto porque a manutenção preventiva prolonga a vida útil da estrutura e evita acidentes, em alguns casos fatais. Além disso, ela é programada, ocorrendo com previsão de recursos e de modo a causar menos impacto na mobilidade regional. “A manutenção preventiva é a feita seguindo as condições prescritas para o uso da estrutura, tal como na revisão programada do nosso automóvel. Ao fazê-la, estendemos o tempo em que a estrutura ficará em funcionamento. Isto se traduz em economia de recursos financeiros e ambientais”, explica Bittencourt.

Todavia, nem sempre o poder público consegue atuar preventivamente, liberando recursos financeiros para o momento em que os relatórios de inspeção apontam a necessidade de intervenção. Esta foi a situação ocorrida no colapso da Ponte Juscelino Kubitschek, que, devido à falta de manutenção no momento adequado, não resistiu aos esforços provocados pelo fluxo permanente dos veículos, chegando a colapsar. Quantas outras pontes brasileiras não se encontram atualmente em situação parecida?

Por outro lado, o desempenho estrutural de uma OAE é determinado por múltiplos fatores, envolvendo incertezas relativas aos materiais construtivos utilizados

na sua execução, aos agentes agressivos presentes no ambiente (como cloretos, no caso de pontes marítimas, e dióxido de carbono, no caso de pontes urbanas), à própria geometria da estrutura e, principalmente, aos carregamentos a que a estrutura está sujeita durante sua vida útil, além do peso próprio da estrutura e dos diferenciados pesos dos veículos que passam sobre ela, impactos associados aos movimentos e frenagens desses veículos e vibrações causadas pelo vento. “Foge ao escopo da inspeção fenômenos de ocorrência pontual, como as vibrações, os sobrepesos, os impactos de veículos e os incêndios, que, dependendo de sua magnitude e duração, podem comprometer o funcionamento e o desempenho de uma ponte, alerta Bittencourt.

O monitoramento vem para suprir essas lacunas no gerenciamento de OAE. Ele consiste basicamente na observação indireta (por meio de câmeras, sensores, radares etc.) e no registro regular de características comportamentais de interesse da estrutura monitorada. É um processo de acúmulo de informações sobre a estrutura ao longo do tempo, cuja análise possibilita a detecção antecipada de problemas e a intervenção proativa para evitar acidentes e incidentes com o uso da estrutura. “Esse acúmulo de dados ao longo do tempo cria um histórico importante sobre a estrutura, que pos-

sibilita entender seus padrões de resposta a eventos diversos e, assim, conseguimos superar as incertezas e agir mais assertivamente”, complementa Bittencourt.

O monitoramento pode ser integrado a diferentes sistemas de análise, modelagem numérica e previsão de cenários, configurando o gerenciamento da saúde estrutural de OAE, uma metodologia que busca integrar sensores, sistemas de diagnóstico e sistemas de prognóstico das condições estruturais, funcionais e de durabilidade da OAE. Seu objetivo é chegar à manutenção preditiva da estrutura, isto é, ser capaz de intervir para recuperar no melhor momento em termos de custo/benefício.

MONITORAMENTO REMOTO POR SATÉLITE DE PONTES BRASILEIRAS

Atualmente, 3935 pontes e viadutos que integram as rodovias federais brasileiras são monitorados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), por meio de uma tecnologia de sensoriamento remoto espacial denominada InSAR – Radar Interferométrico de Abertura Sintética.

Este sistema de monitoramento remoto consiste em fazer um satélite em órbita emitir ondas de rádio em direção a uma estrutura monitorada e ao terreno adjacente, cujo tempo de retorno é medido pelo radar do satélite, e assim, é possível, inferir o deslocamento pontual na área monitorada. Ao comparar duas ou mais imagens (interferogramas) em diferentes momentos (séries temporais de deslocamento), é possível inferir deslocamentos na estrutura e no terreno na ordem de milímetros. A captação de dados e seu gerenciamento por meio de uma plataforma de análise de riscos são feitos pela empresa portuguesa Spotlite.

O objetivo do sistema é estabelecer uma base histórica de comportamento cinemático das OAE, que permita identificar precocemente tendências deformacionais que possam representar comportamentos anômalos para priorizar inspeções intermediárias, especiais ou extraordinárias, e assim, contribuir para a prevenção de situações críticas e reduzir riscos de interdições ou colapsos de pontes e viadutos ao longo do ciclo de vida das estruturas.

A tecnologia tem se consolidado no monitoramento remoto de deformações superficiais e estabilidade das estruturas,

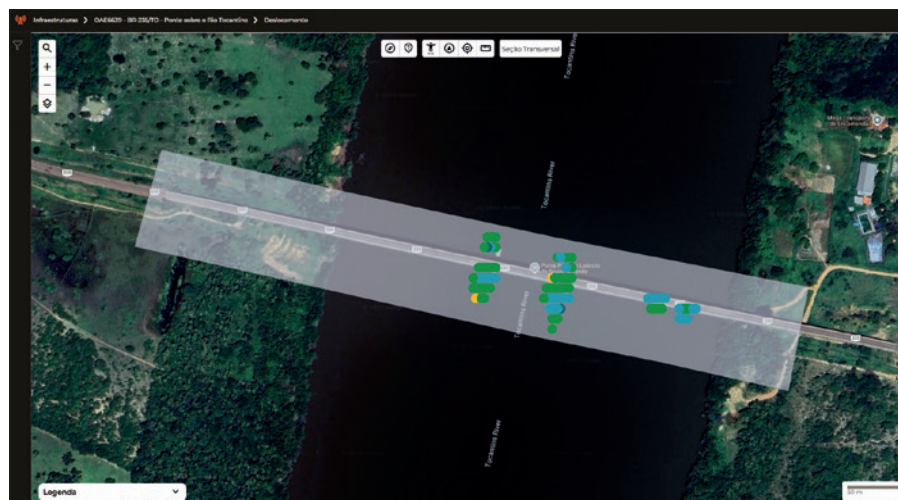


FIGURA 3

PONTOS REFLETORES DO SINAL DE ONDAS DE RÁDIO DE SATÉLITE SOBRE A PONTE PEDRO AFONSO

FONTE: DNIT

como pontes, viadutos, barragens e dutos, porque, diferente dos sensores ópticos, o radar não depende de luz solar e seu sinal penetra nuvens e névoas, permitindo operações contínuas sob quaisquer condições atmosféricas e em períodos noturnos.

Desde 2023, as 770 obras de arte especiais sob jurisdição da prefeitura municipal de São Paulo são monitoradas pela tecnologia InSAR, que, semelhante ao DNIT, funciona como triagem de estruturas que demandam uma análise mais detalhada. “Um deslocamento com magnitude, evolução temporal ou comportamento que justifica atenção gera um alerta e subsidia o deslocamento de uma equipe de inspeção presencial, funcionando como um gatilho de investigação, não como determinação automática de intervenção”, explica o secretário da Secretaria de Infraestrutura Urbana da Prefeitura Municipal de São Paulo, Eng. Marcos Monteiro.

Além do InSAR, que faz o monitoramento quinzenal de movimentação de superfície das OAE municipais, o sistema da prefeitura de São Paulo agrega também 428 câmeras de videomonitoramento de alta resolução instaladas em 295 OEA selecionadas e monitoramento de notícias, mídias sociais e aplicativos de navegação.

As câmeras PTZ, acopladas a motores, que possibilitam seu movimento horizontal e vertical, possuem alta resolução e zoom que possibilitam acompanhar a variação de juntas de dilatação, além de apoiar na gestão do tráfego na cidade, permitem registrar acidentes, como colisões de veículos em pilares, e incêndios. Com esta tecnologia, a Prefeitura de São Paulo agiu prontamente para interditar o Viaduto Condessa de São Joaquim sobre a Avenida 23 de Maio, quando detectou, por meio de câmera, um incêndio sob o viaduto provocado pela explosão de um botijão de gás.

O monitoramento automático em portais de notícias, redes sociais e aplicativos de navegação de palavras-chave associadas às OAE municipais permite reportar acidentes, congestionamentos, interdições e perigos. Ele complementa o monitoramento por câmeras e por radar, pois facilita a consulta a câmeras, e subsidia a gestão das OAE, na medida em que possibilita a ação preventiva a eventos com potenciais impactos sobre o desempenho da estrutura. O solapamento ocorrido numa ponte da

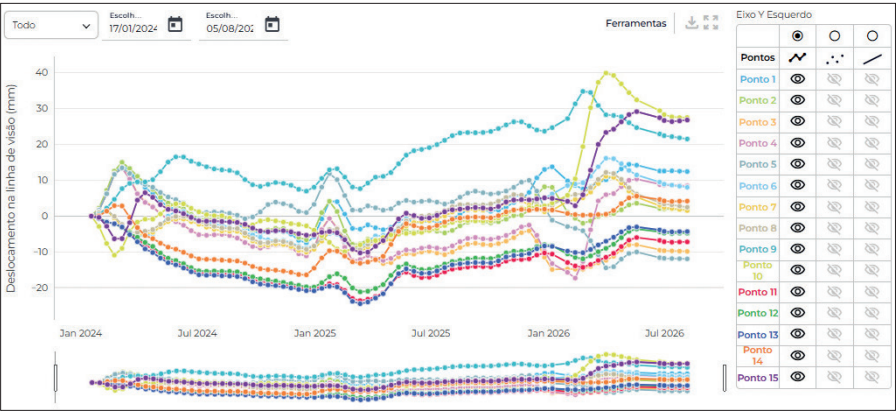


FIGURA 4
SÉRIE HISTÓRICA DOS DESLOCAMENTOS REGISTRADOS NOS PONTOS REFLETORES DA PONTE PEDRO AFONSO
FONTE: DNIT

cidade chegou até o Centro Integrado de Fiscalização de OAE por meio desse monitoramento de redes sociais. Com ele, foi possível acionar rapidamente a Companhia de Engenharia de Tráfego para fazer a interdição do local.

O sistema de monitoramento da Prefeitura de São Paulo foi desenvolvido como plataforma integrada, capaz de reunir tecnologias de aquisição, armazenamento,

processamento, análise e visualização de dados num único ambiente operacional. Sua arquitetura suporta aplicativos móveis de equipes em campo, realizando inspeções visuais e captura de realidade por meio de levantamentos aéreos (drones) e terrestres (scanners); sistemas de informação geográfica, que integram os dados descritivos com dados de localização; modelos BIM georreferenciados; documen-

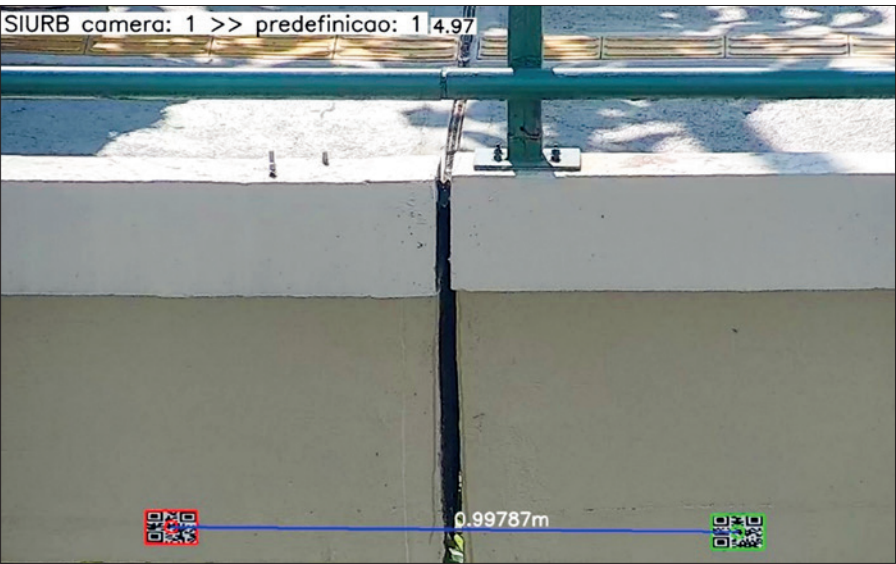


FIGURA 5
ACOMPANHAMENTO DE ABERTURA DE JUNTA DE DILATAÇÃO EM PONTE NA CIDADE DE SÃO PAULO
FONTE: SIURB

tação técnica, como plantas, cortes, elevações e desenhos planimétricos. O sistema integra e apresenta as informações numa interface geográfica única, que possibilita visualizar as tendências dos interferogramas nas cores verde (estável), vermelho (subsistência) e azul (soerguimento), as imagens das câmeras de monitoramento, as ordens de serviço e as localizações das equipes em campo. “O sistema estabelece um ciclo integrado de monitoramento, alerta, inspeção em campo, análise e gestão, conectando dados remotos às atividades de campo e aos processos de avaliação e priorização das intervenções”, resume o secretário.

Segundo ele, a integração entre monitoramento remoto, alertas e inspeções presenciais já permitiu identificar situações que resultaram em restrição ou interdição da OAE, antes que evoluíssem para eventos de maior gravidade, como colapsos. Até o mês de junho deste ano, o sistema emitiu 2953 alertas, que gerou 271 vistorias,

sendo apenas 37 decorrentes de verificação de alertas e 17 emergenciais. Neste período, não houve nenhum tipo de colapso de OAE.

“Outro impacto relevante é a agilidade na preparação de intervenções: a consolidação das manifestações identificadas e das terapias recomendadas, já vinculadas a estimativas orçamentárias, torna mais rápida a transição entre a identificação da necessidade e a estruturação da contratação”, aponta Monteiro.

Por seu turno, a plataforma de sensoriamento remoto do DNIT já permitiu identificar estruturas com comportamento cinemático relevante, que passaram a ser analisadas de forma mais detalhada. Nunes cita a Ponte sobre o Estreito dos Coqueiros, localizada na BR-135/MA, no qual os dados de monitoramento satelital indicaram comportamento compatível com anomalia estrutural, com posterior constatação em campo do esmagamento dos apoios (veja nesta edição). Outro caso foi o Pon-

tilhão localizado no km 41 da BR-343/PI, cuja análise das séries históricas inSAR identificou deslocamentos relevantes que levaram, durante o acompanhamento em campo, ao colapso parcial do acostamento.

Na avaliação de Monteiro acerca do sistema de monitoramento remoto adotado, “o principal ganho foi passar de uma atuação predominantemente reativa para uma abordagem preventiva e orientada por dados, direcionando os recursos disponíveis para onde são mais necessários”.

Nunes prevê ajustes no projeto-piloto do DNIT, como calibração dos parâmetros de alertas por tipologia estrutural, aperfeiçoamento dos critérios de monitoramento mensal e trimestral e integração dos dados InSAR com inspeções, projetos, histórico de intervenções e informações cadastrais do PROARTE – Programa de Manutenção e Reabilitação de Estruturas do DNIT, voltado ao gerenciamento, planejamento, execução, monitoramento e controle de intervenções em OAE e estruturas de contenção da malha rodoviária federal. “No âmbito do PROARTE, a elaboração de Planos de Trabalho e Orçamento (PTO) e a definição das ações de manutenção consideram as informações técnicas disponíveis sobre as OAE”, completa.

As 770 OAE monitoradas pela prefeitura representam 70% das obras de arte especiais do município de São Paulo. Além delas, a arquitetura do sistema, fornecida, implantada, integrada e mantida pela ARC Mobilidade, vencedora do pregão eletrônico, foi concebida de forma modular, podendo ser estendida para monitoramento e gestão de outras tipologias de ativos de infraestrutura urbana, como túneis, estruturas de contenção e edificações públicas. O InSAR, por exemplo, tem aplicação relevante também no monitoramento de recalques em túneis e estruturas de contenção. “Até o momento, não está sendo estudada a ampliação do programa para essas outras tipologias, mas a tendência é sua evolução gradual para essas outras tipologias, aproveitando a infraestrutura de integração de dados já estabelecida”, informa Monteiro. O programa atual tem prazo de execução de cinco anos.

Por sua vez, o monitoramento remoto de obras de arte especiais do DNIT prevê sua extensão para 5300 pontes e viadutos,

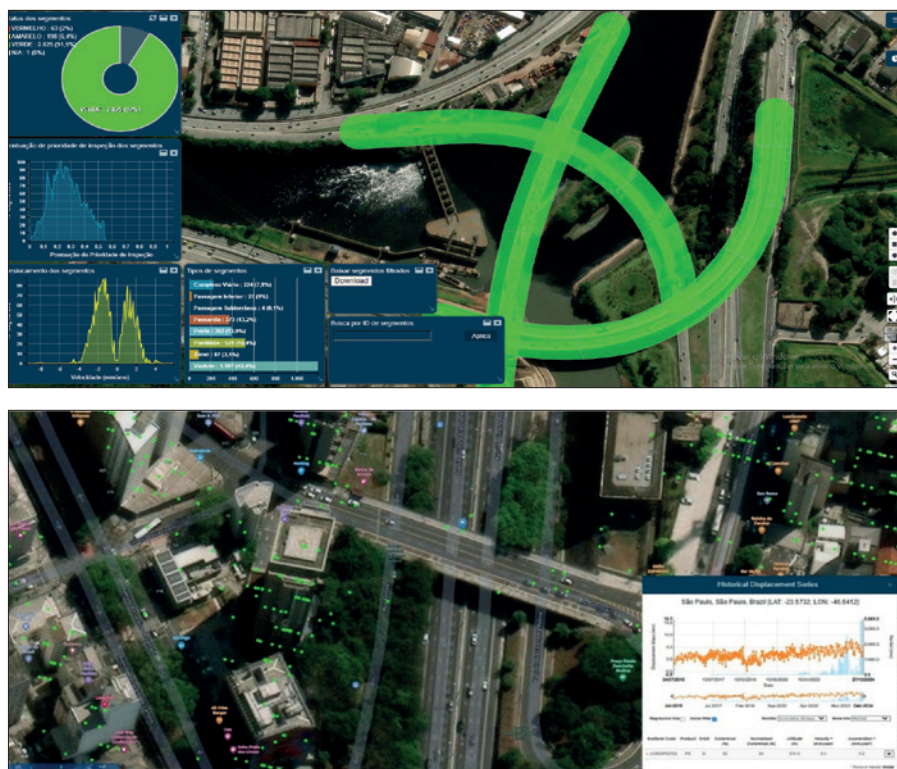


FIGURA 6

PONTOS REFLETORES DO SINAL InSAR (B) E ANÁLISES OBTIDAS POR MEIO DA PLATAFORMA DE MONITORAMENTO DA PREFEITURA DE SÃO PAULO

FONTE: SIURB

diferenciadas quanto à frequência de acompanhamento: 1000 serão monitoradas mensalmente e 4300 terão monitoramento trimestral. A definição das pontes e viadutos já inseridos no programa considerou sua relevância e complexidade, priorizando pontes notáveis, OAE com maiores vãos, estruturas executadas por balanços sucessivos, obras com tipologias estruturais mais complexas, obras com condição de conservação mais desfavorável e com histórico de intervenções, bem como sua importância estratégica ou operacional. “Conforme os resultados do monitoramento e as condições verificadas nas inspeções, uma estrutura acompanhada trimestralmente poderá ser transferida para monitoramento mensal, e vice-versa”, explicou o diretor de infraestrutura rodoviária do DNIT, Eng. Fábio Nunes.

O monitoramento remoto por satélite representa mais um avanço no acompanhamento da saúde estrutural de pontes, viadutos e passarelas, e no seu gerenciamento eficiente. Ele possui, no entanto, várias limitações técnicas, como órbitas satelitais controladas por terceiros (órgãos governamentais e empresas privadas), a não detecção de alguns tipos de movimentações, a sua aplicabilidade a alguns pontos da estrutura, a periodicidade de atualização dos dados, a interpretação dos dados ser dependente da geometria da estrutura, entre outros.

Além disso, existem limitações metodológicas relativas aos sistemas implementados pelo DNIT e pela Prefeitura de São Paulo. Os sistemas são basicamente destinados à análise temporal de deslocamentos (velocidade, aceleração e tendências), à classificação de criticidade do desempenho estrutural e funcional, à geração de alertas parametrizados para equipes de campo e à priorização de estruturas quanto à demanda de inspeções visuais.

Os sistemas não contemplam sensores de aquisição contínua de dados (sensores capazes de medir vibrações, temperatura, umidade, pH, concentração de íons, corrosão de armadura etc.) nem modelos determinísticos ou probabilísticos de previsão de comportamento estrutural e de vida útil, base para um monitoramento efetivo da saúde estrutural



FIGURA 7

PONTE SOBRE O ESTREITO DOS MOSQUITOS, ONDE UM PROJETO-PILOTO ESTÁ EM ESTÁGIO INICIAL DE IMPLANTAÇÃO PARA CRIAÇÃO DE GÊMEO DIGITAL

de OAE e para subsidiar estratégias de manutenção preditiva.

Por isso, tanto o DNIT como a Prefeitura de São Paulo preveem incorporar aos seus sistemas atuais de monitoramento remoto por satélite modelos numéricos, aprendizado de máquina, inteligência artificial e análises preditivas. A perspectiva é integrar progressivamente novas tecno-

logias e sistemas, criando as condições para o gêmeo digital, sistema ciberfísico, que integra elementos físicos e computacionais, proporcionando monitoramento contínuo, análise de dados em tempo real e controle proativo da estrutura. Este avanço é ainda incipiente no país, onde “os gêmeos digitais estão ainda na fase de protótipos”, arremata Bittencourt. ☺



FIGURA 8

VISTA INTERNA DO CAIXÃO CELULAR, COM ÊNFASE NO REFORÇO DE FIBRA DE CARBONO, DA PONTE DOS REMÉDIOS

FONTE: SIURB