



Utilização da Metodologia BIM (*Building Information Modeling*) para Manutenção e Operação de Pontes e Viadutos Através de Gêmeos Digitais.

Felipe Mantuano¹, Glauco José de Oliveira Rodrigues², José Guilherme Santos da Silva³

¹UERJ / Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil / felipe_mantuano@hotmail.com

²UERJ / Departamento de Estruturas e Fundações / glauco.jose.rodrigues@uerj.br

³UERJ / Departamento de Estruturas e Fundações / jgss@uerj.br

Resumo

O crescente uso da metodologia BIM (*Building Information Modeling*) no Brasil, impulsionado pelo Decreto Nº 11.888, de 22 de janeiro de 2024, abrange diversos setores da construção civil, incluindo os projetos de Obras de Arte Especiais (OAEs). Embora a concepção e o dimensionamento de pontes e viadutos sejam amplamente discutidos em congressos e na literatura acadêmica, a operação e manutenção dessas estruturas ainda são pouco exploradas no setor, em grande parte devido ao lento avanço tecnológico na indústria da construção civil. Tal defasagem reflete-se em eventos críticos, tais como o desabamento ou a interdição de pontes e viadutos por falta de manutenção adequada. Deste modo, este trabalho de pesquisa tem como objetivo principal investigar o uso de gêmeos digitais, gerados a partir de modelos BIM correspondentes a OAEs, como ferramentas estratégicas para a operação e manutenção dessas estruturas. Assim sendo, para o desenvolvimento deste estudo, utilizou-se premissas BIM para a concepção de OAEs e o uso de Gêmeos Digitais para comunicação com sensores locais no modelo físico. A investigação apresenta um levantamento estatístico sobre a inoperabilidade de OAEs no Brasil, decorrente da ausência de manutenção; analisa os fatores que contribuem para a ineficiência na gestão desses ativos; discute como a metodologia BIM pode mitigar os principais desafios, promovendo maior eficiência e confiabilidade nas operações e, ainda, aborda como os gêmeos digitais são partes essenciais para este processo.

Este artigo aponta para a necessidade de mudanças na forma de atuação quanto a inspeção e manutenção das OAEs, sendo o uso de novas tecnologias um grande aliado neste processo.

Palavras-chave

BIM (*Building Information Modeling*); Obras de Arte Especiais (OAEs); Gêmeos Digitais; Manutenção.

1. Introdução

A incerteza acerca do número de pontes e viadutos é o primeiro fator contribuinte para a deficiente gestão dos ativos rodoviários do Brasil (DNIT, 2017). Estima-se que cerca de 137.000 Obras de Artes Especiais (OAEs), nas quais 5.827 pontes federais estão sob a responsabilidade de manutenção e fiscalização do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), sendo que, de acordo com o relatório, até maio de 2023, 727 pontes federais foram classificadas como críticas ou ruins. Este número representa cerca de 12,5% das pontes federais no Brasil. Em 2023, 49 planos de trabalho de manutenção de OAEs foram elaborados, do total de 1.724 de posse das Superintendências Regionais. O sistema com finalidade de armazenar dados das inspeções realizadas utilizado pelo DNIT é o Sistema de Gerenciamento de Obras de Artes Especiais (SGO). Toda OAE cadastrada passa por avaliação periódica de suas condições físicas. A nota varia de 1 (pior caso) a 5 (melhor caso) para sua condição. Esta classificação prioriza as execuções das ações de manutenção. As notas 1 e 2 são denominadas “obras críticas” e “obras problemáticas”. A necessidade de priorização é um reflexo da ausência de políticas e estratégias voltadas para a conservação das OAEs.

A morosidade no início da manutenção, torna os reparos mais difíceis e onerosos (VITORIO, 2006). Segundo SITTER (1984), os custos de correção crescem em progressão geométrica de razão cinco (Figura 1). O autor propõe 4 fases na vida útil de uma estrutura de concreto e ressalta que as atenções devem ser focadas nas Fases A e B para melhores resultados:

- a) Fase A: Boa prática (concepção inicial, construção, controle de qualidade);
- b) Fase B: Manutenção (manutenção geral e inspeções periódicas);

- c) Fase C: Reparo e Manutenção (remoção e substituição de concreto isolado);
- d) Fase D: Renovação (remoção e substituição generalizada de concreto).



Figura 1 - Lei de evolução de custos, Lei de Sitter (SITTER, 1984).

Uma das principais razões para o crescente interesse na durabilidade do concreto é a recorrência preocupante de danos causados pela corrosão do aço reforçado. Segundo CARVALHO (2018), a deterioração do concreto é provocada por processos físicos, químicos e biológicos. Segundo MEHTA (2008), não existe material propriamente durável, as microestruturas mudam com o tempo como resultado de interações ambientais. O fim da vida útil de uma estrutura ocorre quando suas propriedades, sob determinadas condições de uso, se deterioram a ponto de tornar sua continuidade inviável, tanto do ponto de vista econômico, quanto da segurança.

O objetivo principal deste artigo é abordar o uso de novas tecnologias para inspeção e manutenção de Obras de Artes Especiais através do uso de Gêmeos Digitais e a confiabilidade das informações provenientes dos projetos em BIM.

2. Conservação dos Ativos

O conjunto de ações necessárias para que uma estrutura se mantenha funcional para seu propósito de projeto e execução é definido como prática de conservação do ativo. A primeira fase de ações é o levantamento de dados da obra por meio de inspeções ou vistorias (VITORIO, 2006). A NBR 9452/23 estabelece os requisitos para as inspeções em pontes, viadutos e passarelas de concreto, aço ou mistas. Os tipos de inspeções são considerados:

- a) Cadastral – A primeira inspeção realizada no ativo, efetuada logo após a conclusão de sua implantação ou ao se integrar ao sistema viário ou quando houver alterações na configuração da obra.
- b) Rotineira – Inspeção de acompanhamento periódico, não superior a 1 ano entre à inspeção anterior.
- c) Especial – Deve ter periodicidade de 5 anos, e postergável para até 8 anos, caso enquadrado em casos específicos.
- d) Extraordinária – São oriundas de demandas não programadas, ocasionada por diferentes naturezas de eventos.

3. Classificação das Obras de Artes Especiais (OAEs)

As OAEs devem ser classificadas conforme parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade, de acordo com a NBR 9452/23. As notas devem variar de 0 a 5, refletindo a maior ou menor gravidade dos problemas detectados. O Quadro 1 exemplifica a classificação conforme norma.

Caracterização	Estrutural	Funcional	Durabilidade
Nota 5	Condições satisfatórias, defeitos irrelevantes e isolados.	Apresenta segurança e conforto aos usuários	Condições satisfatórias, defeitos irrelevantes e isolados
Nota 4	Apresenta danos de baixa gravidade, localizados e em pequenas áreas sem comprometer a segurança estrutural.	Apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	Apresenta pequenas e poucas anomalias, que não comprometem sua vida útil.

Nota 3	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas.	Apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem atenção.	Apresenta anomalias de moderada gravidade, comprometendo sua vida útil.
Nota 2	Há danos comprometendo a segurança estrutural da OAE sem aparente risco iminente de colapso. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. Necessidade de intervenções significativas.	Possui funcionabilidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário.	Apresenta moderada a muitas anomalias, comprometendo sua vida útil.
Nota 1	Há danos gerando grave insuficiência estrutural da OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural localizado. Necessita de intervenção imediata.	Condições funcionais limitadas de utilização em regiões localizadas.	Elevado grau de deterioração em regiões localizadas. Requer intervenção imediata, podendo ser necessário restrições de cargas e interdição parcial ao tráfego.
Nota 0	Há elementos estruturais principais colapsados, evoluindo para instabilidade da estrutura. É necessária a interdição total, até que haja avaliação e reclassificação por consultoria especializada ou intervenção.	Não apresenta condições funcionais de utilização. A OAE deve ser interditada.	Elevado grau de deterioração, gerando grave insuficiência estrutural e/ou funcional, requerendo intervenção emergencial e interdição total.

Quadro 1 - Classificação da OAE segundo ABNT 9452/23.

O inspetor é responsável por atribuir as notas finais e o engenheiro gestor por gerir e priorizar as intervenções. Recomenda-se a subdivisão de cada parâmetro para a atribuição da nota conforme elementos da ponte (superestrutura, mesoestrutura, infraestrutura, elementos complementares e pista).

4. Desafios para Manutenção de OAEs

Segundo SOUZA (1991), o principal fator de ocorrência de patologias em construções no Brasil está relacionado a possíveis falhas durante a fase de execução da estrutura (Figura 2). GNIPPER e MIKALDO JR. (2007) citam como principais agentes causadores as patologias de origem endógena na construção civil; falhas decorrentes de projetos 36% a 49%; falhas de execução 19% a 30%; falhas de componentes 11% a 25% e de utilização 9% a 11%.

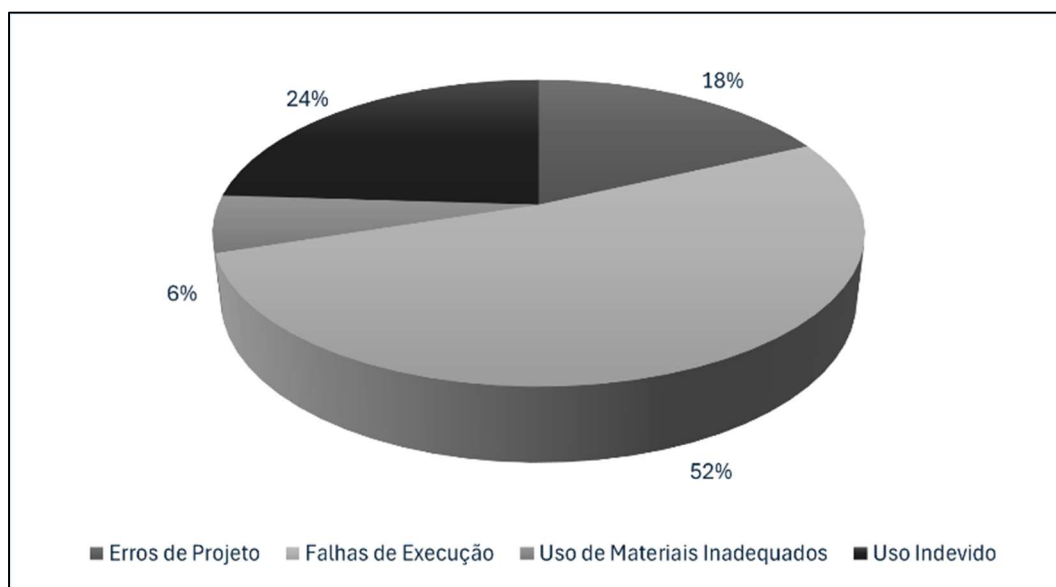


Figura 2 - Distribuição percentual de falhas patogênicas nas etapas de construção no Brasil (SOUZA, 1991).

As pontes e viadutos são singulares quanto a sua constituição estrutural, com isso, são mais susceptíveis às patologias. A falta de manutenção e processos eficientes são fatores cruciais para aceleração dos problemas patológicos.

Em estudo realizado por VITÓRIO (2013), foram analisadas 100 pontes em estados do Nordeste e levantou-se as principais ocorrências de patologias (Figura 3). Relatou-se no estudo que a falta de manutenção desses ativos contribuiu significativamente para os danos estruturais das pontes estudadas.

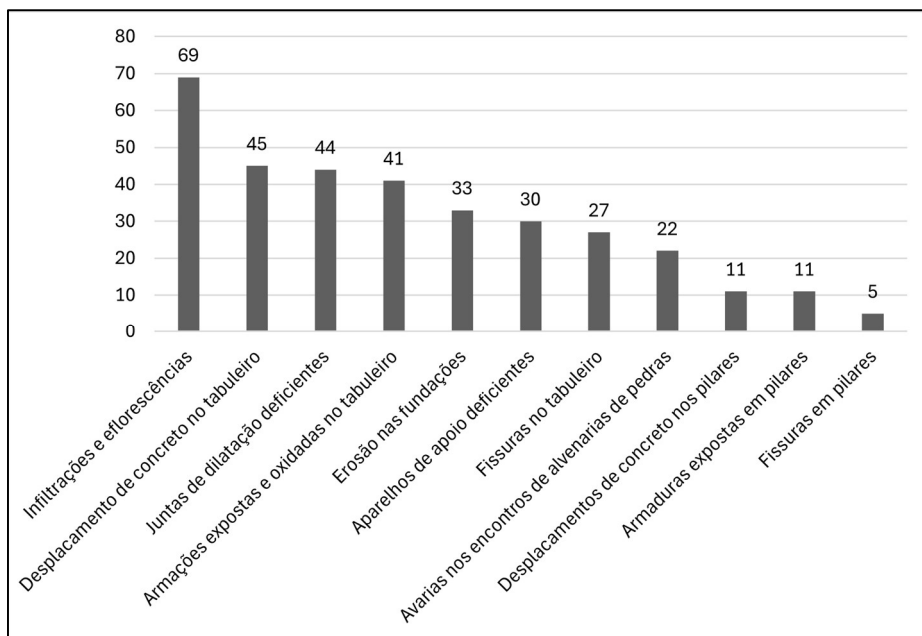


Figura 3 - Incidência dos principais danos estruturais nas 100 pontes pesquisadas (VITÓRIO, 2013).

5. Building Information Modeling (BIM)

Charles M. Eastman deu início ao conceito BIM em 1975. Embora o termo usado não fosse “*Building Information Modeling*”, o autor dava início a modelagem da informação (EASTMAN, 1975).

Segundo SACKS (2021), BIM é um conjunto de processos e tecnologia de modelagem para comunicação, produção e análises de modelos de construção. As caracterizações destes modelos são:

- Componentes de construção representados por objetos que contém propriedade gráfica e de dados computáveis e identificáveis para *softwares*, além de parametrização que permite uso inteligente dos objetos;
- Componentes com dados que descrevem seu comportamento, de acordo com sua necessidade;
- Dados não redundantes e consistentes, na qual modificações de seus parâmetros refletem as mudanças em todas as visualizações dos objetos e ao meio no qual fazem parte.

Segundo CARDOSO (2020), é possível classificar o conjunto de dados em “Dimensões”, categorizando do 3D a 7D (Figura 4). Para KAMARDEEN (2010), também pode ser considerado a oitava dimensão, referente a segurança e prevenção de acidentes em três etapas: determinar os riscos, promover sugestões de segurança para riscos altos e controlar os riscos de segurança por meio do modelo digital.

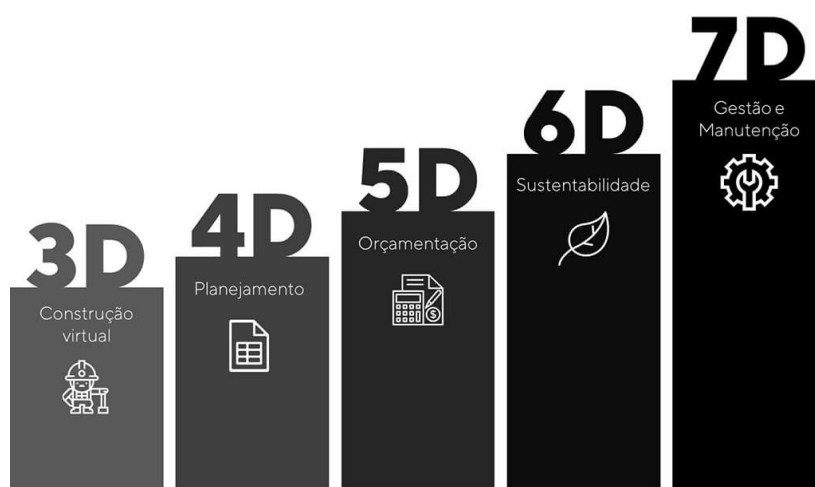


Figura 4 - Dimensões BIM (CARDOSO et al., 2020).

A dimensão BIM 7D está relacionada à Gestão e Manutenção ao longo da vida útil do ativo, sendo uma das menos utilizadas por falta de conhecimento do usuário final (BAKOWSKI, 2017).

5.1. BIM na Infraestrutura

A mensuração do Retorno Sobre o Investimento (ROI) é um desafio constante que tange a adoção da metodologia BIM em obras públicas de infraestrutura (STOWE *et al.*, 2015). O Departamento de Transportes de Wisconsin no Estados Unidos, usou dados atuais de projetos para calcular o ROI em seu empreendimento de um dispositivo de interconexão chamado “*The Mitchell*” (Figura 5).

Por intermédio da modelagem 3D e da detecção de interferências entre os modelos, notou-se redução considerável nos custos referentes aos problemas no projeto (USFHA, 2013), conforme Quadro 2.



Figura 5 - Modelo 3D, The Mitchell Interchange (USFHA, 2013).

Notificação de Problemas de Projeto	Porcentagem estimada de redução	Custo Total (Milhões de US\$)	Custo médio por revisão
Estruturas Gerais	30,50%	6,8	45.674
Saneamento / Drenagem	25,50%	5,7	85.631
Rodovias / Drenagem	11,10%	2,4	27.120
Pontes	8,00%	1,8	15.557
Barreiras Acústicas	8,00%	1,8	12.909
Muros de Contenção	7,70%	1,7	21.818
Terraplenagem	4,50%	1	59.220
Elétrica	2,60%	0,6	15.557
Tráfego	2,10%	0,5	18.174
Sinalização	0,10%	0,02	738
TOTAL	100%	22,32	-

Quadro 2 - Impacto do custo estimado a partir do uso da modelagem 3D no projeto de interconexão Mitchell (USFHA, 2013).

6. Gêmeos Digitais

Segundo PARROT (2017), os *Digital Twins* (DT) podem ser definidos como um perfil digital do histórico e atual comportamento de um objeto físico ou processo em evolução. O Gêmeo Digital é baseado em dados massivos, acumulativos, em tempo real de um conjunto de dimensões. Esses dados possibilitam a análise e as previsões de comportamentos do objeto ou processo no mundo real. Em consonância com o trabalho de GRIEVES (2019), o DT é definido como informação construída, consistindo em um modelo físico; um modelo digital e as conexões entre estes modelos. O principal objetivo do DT é fornecer controle e monitoramento em tempo real do modelo físico (Figura 6).

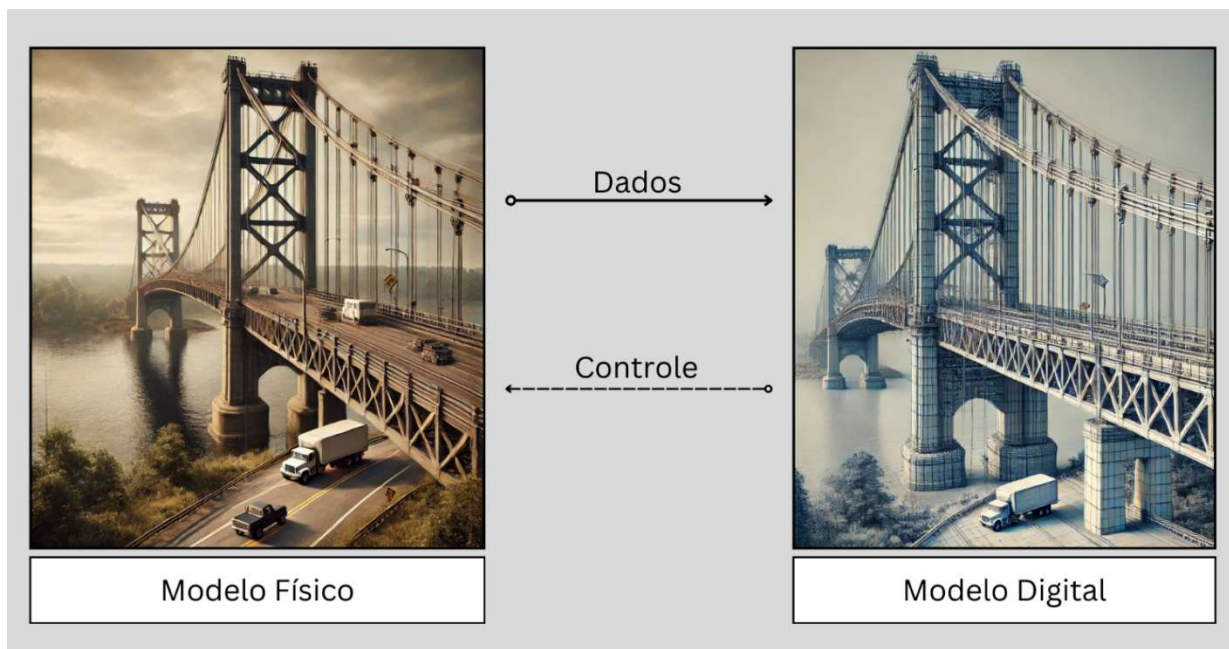


Figura 6 - Conceito dos 3 elementos de um DT (DELGADO, 2021).

Por sua vez, a sinergia entre o BIM e o DT é evidente, uma vez que o BIM é um insumo de dados geométricos e não geométricos para a composição do Gêmeo Digital, porém a modelagem a nível executivo, não pode ser o modelo digital final para gerenciamento do DT por não retratar as condições existentes fiéis. Uma vez terminada a construção do ativo, é preciso fazer o comissionamento e as alterações no modelo executivo para retratar a condição real da estrutura. Esta tarefa pode ser onerosa, morosa e imprecisa, a depender do tamanho e complexidade da estrutura. Uma solução crescente e que vem ganhando espaço no mercado é o uso de Drones e *Laser Scanners* devido a sua alta precisão e velocidade de escaneamento, gerando um modelo de nuvem de pontos (Figura 7) que podem ser usados em diversos *softwares* BIM.



Figura 7 - Nuvem de pontos de viaduto gerado por drones (ALAURIA, 2023).

7. Monitoramento das Estruturas de Pontes e Viadutos Através de Sensores

O monitoramento estrutural é definido pela utilização de métodos de ensaio não destrutivos, ou seja, que não causam danos a estrutura em análise ou mesmo que causem danos, são considerados insignificantes para continuidade da sua capacidade de sustentação de cargas (MARQUES, 2007).

Entre os diferentes tipos de sensores de aquisição contínua de dados existentes na indústria, podemos citar alguns mais relevantes para o uso em OAEs, levando em consideração a incidência de manifestações patológicas abordados anteriormente:

- a) Sensores de Deformação: Este tipo de equipamento monitora as deformações da estrutura sob diferentes condições de carga, sendo essencial para identificar áreas suscetíveis a falhas;

- b) Sensores de Vibração: Utilizados para monitorar a resposta da estrutura a diversas forças, como vento e tráfego, esses equipamentos ajudam a identificar padrões de vibração que podem sinalizar problemas estruturais (Figura 8);
- c) Sensores de Temperatura e Umidade: Esses equipamentos monitoram o ambiente ao redor da estrutura, uma vez que variações extremas de temperatura e umidade podem comprometer a integridade dos materiais;
- d) Sensores Galvânicos: Composto por um conjunto de barras de aço-carbono, eletricamente isoladas. Com seu embutimento, as barras ficam posicionadas em diferentes e conhecidas profundidades do concreto de cobertura da armadura. O risco de corrosão da armadura é monitorado com a periódica medição da corrente galvânica em cada uma das barras do sensor (Figura 9) (ARAÚJO *et al*, 2013);
- e) Sensores de Fibra Ópticas: Segundo LI *et al.* (2000), os sensores de fibra óptica são promissores por conta de sua versatilidade e simplicidade, comparado aos outros. É possível sua utilização para monitoramento do pH e da umidade do concreto, da concentração de íons cloreto, e, também, da corrosão das armaduras.



Figura 8 - Utilização de acelerômetro em uma ponte (DYNAMIS TECHNÉ, 2025).



Figura 9 - Sensor Galvânico (ARAÚJO, 2013).

O *Structural Health Monitoring* (SHM) consiste em uma técnica não destrutiva de avaliação de estruturas. O objetivo é fornecer, a todo momento, um diagnóstico dos materiais constituintes, das diferentes partes e do agregado delas que compõe a estrutura como um todo. Esta metodologia envolve a integração de sensores; transmissão de dados; poder computacional entre outros, dando o poder para uma gestão completa da própria estrutura e da estrutura considerada parte de um sistema maior (BALEAGAS, 2010).

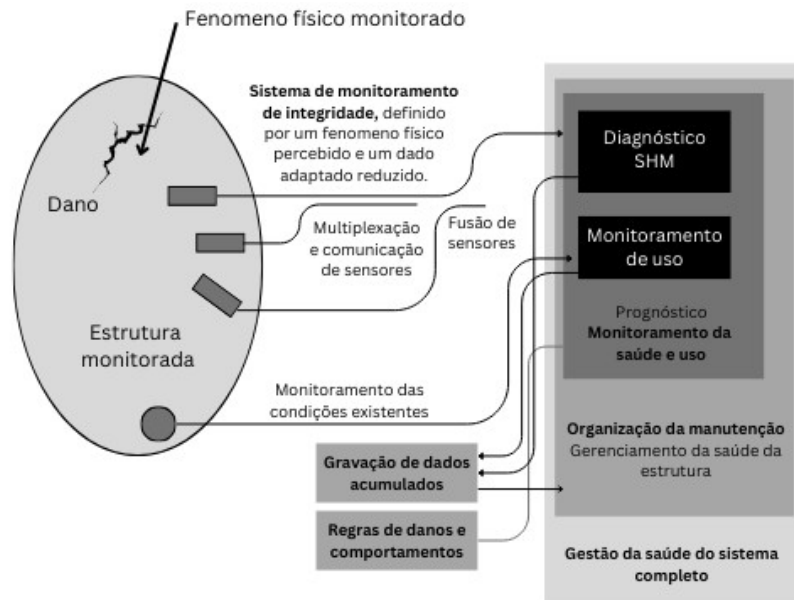


Figura 10 - Princípios e organização de um sistema SHM (BALEAGAS, 2010).

As etapas necessárias para o início da gestão do ativo (Figura 11), se originam na concepção do projeto em BIM, gerando o modelo 3D com informações seguras e com parâmetros necessários para seu uso na gestão. O BIM também tem influência na construção do empreendimento, uma vez que é possível planejar e simular diversos cenários para melhoria da eficiência construtiva, além de dar acesso às informações do projeto diretamente às equipes por meio de dispositivos móveis. Desta maneira, as informações estão sempre atualizadas e estabelecem um canal de comunicação direto e efetivo para envio de *feedbacks* de informações sobre a obra e ao modelo (SACKS, 2021).

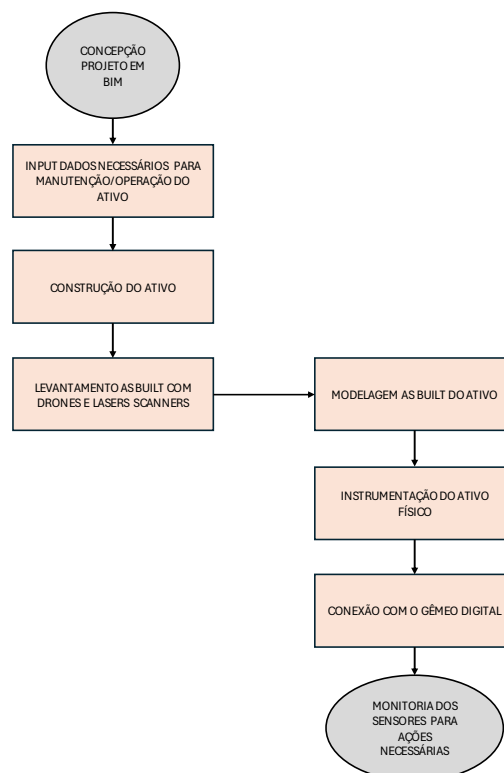


Figura 11 - Fluxograma do processo de configuração do DT.

8. O Autodesk Tandem

A Autodesk lançou recentemente um software para gerenciamento de Gêmeos Digitais, o Autodesk Tandem. A solução objetiva conectar os dados de facilites com a réplica digital de natureza BIM. Esta aplicação facilita a configuração de um DT, trazendo oportunidades e melhorias para a operação e manutenção de ativos. Entre as diversas funcionalidades, destacam-se:

- Visualização de dados operacionais através de gráficos e mapas de calor;
- Integração com extensões *Industry Foundation Classes* (IFC) e arquivos Revit;
- Conexão com várias fontes de dados provenientes de sensores com *Internet of Things* (IoT);
- Inventário de todos os ativos do empreendimento (Figura 12).

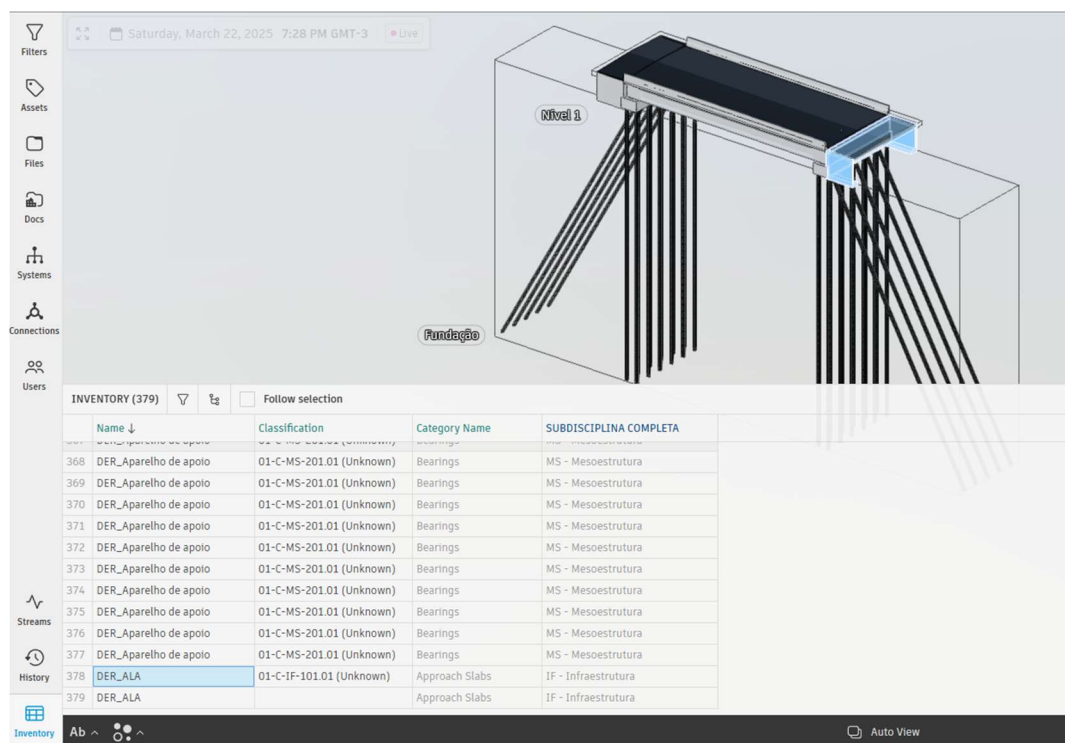


Figura 12 - Mapeamento dos parâmetros de uma ponte concebida em BIM, utilizando o inventário do Autodesk Tandem.

9. Conclusões

A constante evolução da tecnologia de sensores e das técnicas de análise de dados impulsiona avanços significativos no monitoramento estrutural. Com a crescente integração de tecnologias, como a IoT e a inteligência artificial, o futuro caminha para sistemas ainda mais precisos e eficientes, elevando a segurança e a longevidade das estruturas a um nível sem precedentes.

Como relatado neste trabalho, o número alarmante de OAEs sem manutenção é extremamente preocupante, dado os custos para reparos ou pior, de sua ruína. O *Building Information Modeling* procura minorar os maiores causadores de patologias em pontes e viadutos, com um projeto mais assertivo, informação mais clara e comunicação com os executores das obras, garantindo menos erros também na etapa de execução.

Concluimos também que já existem soluções de *softwares* e equipamentos para atender as necessidades atuais do mercado, como no exemplo o Autodesk Tandem.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho de pesquisa agradecem ao suporte financeiro fornecido pelas Agências de Fomento à Pesquisa do país: CAPES, CNPq e FAPERJ.

Referências

- ALAUZIA, S.; AMATORI, L.; CLEMENTE, A.; CLEMENTE, P. Verifica di vulnerabilità di ponti e viadotti: rilievi 3D e indagini per un caso studio in Provincia di Campobasso. Disponível em: <<https://www.ingegneriaclemente.it/verifica-vulnerabilita-ponti-viadotti-clemente-engineering-ingenio/>>. Acesso em: 01 mar. 2025.
- ARAÚJO, A. et al. Monitoramento da corrosão em estruturas de concreto: sensor de umidade, de taxa de corrosão e de fibra óptica. São Paulo: Técnica, v. 195, p. 62-72, 2013.
- BALAGEAS, D.; FRITZEN, C.; GÜEMES, A. Structural health monitoring. John Wiley & Sons, 2010.
- BAKOWSKI, J. Analytical tools for functional assessment of architectural layouts. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2017. p. 042044.

- CARDOSO, R. et al. Aspectos contrutivos no uso do BIM. Rev. Episteme Transversalis, Volta Redonda-RJ, v.11, n.3, p.264-277, 2020.
- CARVALHO, D. Análise de desempenho das intervenções de alargamento e reforço de pontes rodoviárias de concreto armado em obras de duplicação de rodovias. Dissertação (Mestrado em engenharia de estruturas) - Escola de Engenharia Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.
- DELGADO, J.; OYEDELE, L. Digital Twins for the built environment: learning from conceptual and process models in manufacturing. Advanced Engineering Informatics, v. 49, p. 101332, 2021.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Base de Dados das OAE – BDOAE. 2017. Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/dnitcloud/index.php/s/gkQB3SNPH7cwF5F>>. Acesso em: 02 fev. 2025.
- DYNAMIS TECHNÉ. Instrumentação e monitoração com acelerômetros. Disponível em: <https://dynamistechne.com/nossos-servicos/instrumentacao-e-monitoracao-com-acelerometros/>. Acesso em: 15 mar. 2025.
- EASTMAN, C. The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design. AIA Journal, v. 63, jan. 1975.
- GNIPPER, S.; MIKALDO, J. Patologias frequentes em sistemas prediais hidráulicosanitários e de gás combustível decorrentes de falhas no processo de produção do projeto. Curitiba, 2007. Disponível em: <www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=27&Cod=319>. Acesso em: março 2025.
- GRIEVES, M. Virtually intelligent product systems: Digital and physical twins, 2019.
- KAMARDEEN, I. 8D BIM Modelling tool for accident prevention through design. Egbu, C. (Ed) Procs 26th Annual ARCOM Conference, 2010.
- MARQUES, L. Monitorização Estática e Dinâmica: Aplicações. 2007. 202f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia Civil, Materiais e Reabilitação da Construção, Escola de Engenharia - Universidade de Minho, Braga, 2007.
- MEHTA, P.; MONTEIRO, P. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. Tradução: Paulo Helene *et al.* 3.ed. São Paulo: IBRACON, 2008.
- LI, X. M. et al. Monitoring the corrosion of steel in reinforced concrete using optical waveguide methods. In: Smart Structures and Materials 2000: Sensory Phenomena and Measurement Instrumentation for Smart Structures and Materials. SPIE, 2000. p. 172-179.
- SACKS, R. et al. Manual de BIM-: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores. Bookman Editora, 2021.
- PARROT, A.; WARSHAW, L. Industry 4.0 and the digital twin: Manufacturing meets its match. Copyright© Deloitte Insights, publicado em: 12 mai. 2017. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/industry-4-0/digital-twintechology-smart-factory.html>>. Acesso em: 02 fev. 2025.
- PFEIL, W. Pontes em concreto armado: elementos de projeto, solicitações, superestrutura. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1983.
- PSU. Pennsylvania State University. Project Execution Planning Guide. Pennsylvania State University, 2011. v. 2.1.
- SITTER, W. Costs for service life optimization. The Law of fives. In: International CEBRILEM workshop on durability of concrete structures. Proceedings... Copenhagen: CEBRILEM, 1984, p.18-20.
- SOUZA, M. Clínica geral: erros de projeto, materiais, execução, uso. Construção. Vol. 30, pp.4-8,1991
- VITÓRIO, J.; BARROS, R. Análise dos danos estruturais e das condições de estabilidade de 100 pontes rodoviárias no Brasil. Anais do 3º Congresso Nacional Sobre Segurança e Conservação de Pontes, Porto, Portugal, 2013.
- VITÓRIO, J. Vistorias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto. Anais do 48º congresso brasileiro do concreto – CBC2006. Recife, 2006.
- U.S. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Understanding the Benefits of 3D Modeling in Construction: The Wisconsin Case Study3D Engineered Models for Construction. Washington, DC: [s.n.].