

Modelagem do Ciclo de Vida de OAEs: Estudo de Caso do Reforço Estrutural de uma Ponte Ferroviária na Perspectiva do BIM

Pâmela Souza da Silva¹, Gabriela Martins Souza Brisola²,

¹ OMP Engenharia /Laudos e Perícias / pamela.souza@engenharia.ufjf.br

² CCR RioSP/Especialista de Estruturas / gabrielabrisola@gmail.com

Resumo

As Obras de Arte Especiais (OAEs) são parte integrante dos modais rodoviário e ferroviário, sendo responsáveis por dar continuidade às vias e transpor obstáculos. A manutenção dessas obras, além de fundamental para a manutenção do ciclo de vida, se tornou uma preocupação social e, portanto, o desenvolvimento de métodos e ferramentas são essenciais para uma gestão eficaz dos ativos. Para isso, a implementação do *Building Information Modeling* (BIM), por meio da modelagem paramétrica e da interoperabilidade, foi a estratégia proposta neste trabalho. O objeto de estudo é uma ponte ferroviária, na qual foi diagnosticada a necessidade de reforço estrutural. O objetivo proposto é desenvolver a modelagem do ativo em um software BIM, como facilitador para a gestão da atividade, elaborando a representação da fase atual da estrutura, a fase de demolição e a fase da nova construção de reforço. Para tal, foram utilizadas as informações de projeto em CAD fornecidas pela concessionária responsável pelo ativo. Na sequência, a presente aplicação do estudo propõe estratégias para a criação de um banco de dados dos ativos existentes, visando fomentar o *Bridge Management System* (BMS), um sistema de gerenciamento voltado especificamente para as OAEs e que pode ser ainda mais eficaz com a utilização do BIM.

Palavras-chave

BIM; Ponte; Ciclo de vida; Reforço estrutural.

Introdução

A malha ferroviária brasileira possui, de acordo com dados da CNT (Confederação Nacional do Transporte), cerca de 31.299 quilômetros que para transpor obstáculos naturais, tais como vales e rios conta com mais de 2592 OAEs, catalogadas até o período em estudo (LOPES, 2012).

Essas estruturas estão sujeitas à falhas estruturais e há uma preocupação em relação à fadiga dos elementos estruturais, devido às cargas as quais estas são submetidas. O incremento de velocidades nas linhas férreas e a capacidade de carga dos trens colocam novos desafios à concepção estrutural de pontes, com ênfase no comportamento dinâmico, onde as vibrações induzidas pela passagem do tráfego ferroviário provocam na estrutura em geral deslocamentos e esforços internos superiores aos produzidos pela aplicação estática da carga, os quais podem pôr em risco a segurança estrutural da ponte (MELO, 2016).

Assim, para evitar a ocorrência de acidentes e de falhas estruturais que prejudiquem o escoamento da carga, é necessário o cumprimento das normas vigentes em relação às inspeções que apontam a necessidade de obras de manutenção e reforço para suportar o trem-tipo que as solicita. A NBR 9452 – Vistorias de pontes e viadutos de concreto – Procedimento traz as definições para a realização de inspeções em pontes e viadutos bem como os critérios que devem ser adotados para a classificação das anomalias identificadas e o estado de conservação do ativo.

As informações coletadas em campo precisam ser analisadas e armazenadas de forma eficiente para que a vida útil da ponte seja prolongada.

Para auxiliar no armazenamento de informações referentes ao ciclo de vida de uma construção o BIM (*Building Information Modeling*) se apresenta como um facilitador, possibilitando a criação de um modelo único contendo informações que possibilitam o acompanhamento do ciclo de vida da estrutura e implementação de informações como um todo.

Este trabalho traz um estudo de caso da aplicação do BIM para a modelagem e a inserção de informações sobre o ciclo de vida da ponte ferroviária sobre o Rio Paraíba do Sul. O modelo contará com a modelagem do ativo da forma como ele se encontra atualmente e as informações referente a obra de reforço estrutural que será realizada. Para a modelagem, foi utilizado o *software* Allplan Engineering.

Desenvolvimento

As obras de arte especiais ferroviárias são definidas, de acordo com a ISF – 216: Projeto de Obras de Arte Especiais, como pontes, viadutos ferroviários, passagens superiores, passagens inferiores e passarelas, projetadas em concreto armado, protendido, metálicas ou em combinação entre esses sistemas construtivos estruturais.

Como o objeto de estudo do presente trabalho é uma ponte, é importante entender sua definição e as suas partes constituintes. As pontes são obras destinadas a transposição de obstáculos à continuidade do leito normal de uma via, como rios, braços de mar, vales profundos e outras vias (PFEIL, 1979). Sua estrutura é composta pela infraestrutura, responsável por apoiar no terreno (rocha ou solo) os esforços transmitidos da superestrutura para a mesoestrutura. Os elementos que a constituem são os blocos, estacas, sapatas ou outro tipo de fundação. A mesoestrutura é composta por pilares, vigas travessas e aparelhos de apoio, os quais recebem os esforços da superestrutura e os transmite para a infraestrutura. E a superestrutura é constituída pelas vigas e lajes que recebem o carregamento do tráfego o qual passa pela ponte (MARCHETTI, 2018).

Para que as boas condições de uso dessas estruturas sejam mantidas é necessário a realização da gestão dos ativos, sendo necessários sistemas de gerenciamento que atendam a legislação vigente e otimizem o processo de manutenção.

Especificamente para pontes, existe o Sistema de Gerenciamento de Pontes (*Bridge Management System* – BMS) que é um sistema que se concentra em tomar decisões baseadas em informações precisas para a operação, manutenção, preservação, substituição e melhoria das pontes (FHWA, 2022). O início da sua implementação se dá quando é realizada a inspeção cadastral do ativo, inspeção essa que é realizada após a conclusão de uma obra nova ou intervenção de reforço (ABNT, 2019).

A alimentação deste sistema se dá a partir das inspeções rotineiras que são acompanhamentos periódicos realizados de forma visual, sem a utilização de instrumentos e equipamentos diferenciados, ou seja, é realizada de forma qualitativa, sendo as manifestações patológicas classificadas em leve, normal, moderada ou severa, dependendo do julgamento do inspetor (MASINI *et al.*, 2021).

A nível nacional, tem-se o SGO (Sistema de Gerenciamento de Pontes), desenvolvido pelo DNIT, entretanto cada concessionária faz adaptações de forma que o processo de gerenciamento venha atender as necessidades e o nível de tecnologia utilizado em cada uma delas.

A título de ilustração utilizaremos o BMS adotado pela MRS Logística, uma operadora logística que administra 1643 km da malha ferroviária brasileira localizada nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. Em seu sistema de gerenciamento é realizado o registro dos elementos estruturais registrando-os e os organizando em superestrutura, mesoestrutura, infraestrutura, aparelhos de apoio, juntas, trilhos, passeio e acessórios como cremalheiras de cabos, guarda corpo e barreiras de proteção. Após a organização dos elementos é realizada a descrição das manifestações patológicas constatadas em inspeções. Os danos são agrupados primeiro por materiais, segundo por regiões especiais que merecem atenção, como aço conexões e rolamentos. Essas manifestações patológicas são classificadas de acordo com o nível de deterioração e, a partir de ferramentas computacionais e de uma matriz de priorização é definida qual a ordem de reparo das OAEs (MASINI *et al.*, 2021).

Como pode ser observado, para uma boa gestão de um ativo é necessário ter informações sobre este, principalmente relacionadas ao material que constitui cada elemento e o registros das manifestações patológicas que existem em cada elemento e o tratamento que ela já sofreu. Também é importante o registro da capacidade de carga que a ponte resiste, bem como outras informações inerentes ao projeto.

Para que essas informações não se percam e a gestão seja eficiente pode-se fazer uso do BIM (*Building Information Modeling*) que é definido como o conjunto de tecnologias e processos integrados que permite a criação, a utilização e a atualização de modelos digitais de uma construção, de modo colaborativo, que sirva a todos os participantes do empreendimento, em qualquer etapa do ciclo de vida da construção (BRASIL, 2020). A utilização do BIM para a modelagem de pontes, a partir da criação de objetos paramétricos e da interoperabilidade, proporciona a padronização de informações em um formato digital o que contribui para gestão do ativo.

Para a implementação do BIM na gestão de um ativo existente, neste caso, na ponte ferroviária sobre o Rio Paraíba do Sul com, aproximadamente 150 metros de extensão (Figura 1), teve-se acesso aos projetos em CAD da estrutura com informações levantadas em campo pela concessionária responsável. A partir dessas informações foi possível elaborar o modelo da ponte da forma como ela se encontra atualmente como demonstrado na figura 2.



Figura 1 - Vista da Ponte sobre o Rio Paraíba do Sul.

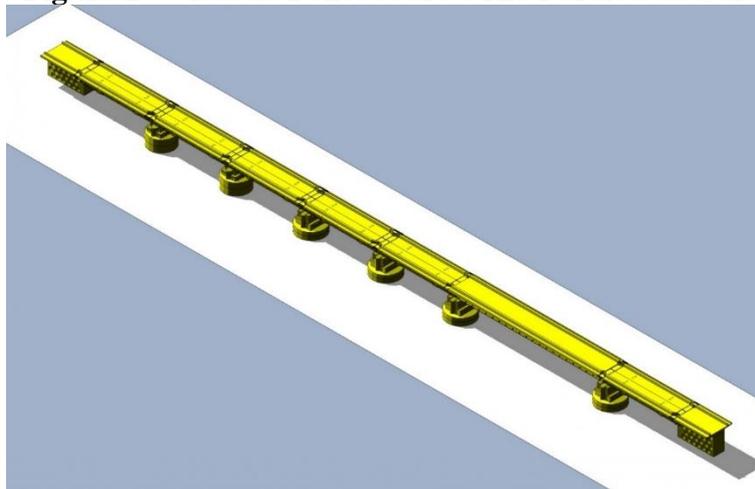


Figura 2 - As built da ponte ferroviária sobre o Rio Paraíba do Sul elaborado com o auxílio do software Allplan Engineering.

Essa ponte passará por um processo de reforço estrutural que é definido como:

Conjunto de atividades desenvolvidas, com acréscimo ou substituição de materiais estruturais, para devolver à ponte, com a eliminação de todos os defeitos que afetam o

desempenho da obra, condições próximas das iniciais e, até melhores, na capacidade de carga. (DNIT, 2004, pag. 3).

As técnicas de reforço utilizadas serão o grauteamento e a incorporação de novos elementos estruturais; A forma de ação será o reforço ativo que age sobre as solicitações atuais e futuras; Todos os elementos da ponte serão reforçados e as técnicas construtivas utilizadas serão concreto armado, concreto projetado, incorporação de armadura e protensão (HELENE, 2003).

De acordo com as informações obtidas por meio dos projetos fornecidos pela concessionária responsável pela ponte, o reforço ocorrerá em oito fases, sendo elas:

- Fase 1: Nesta fase serão executadas estacas dos blocos com diâmetro de 140 cm e encamisamento metálico de 10 mm de espessura, serão executados os blocos laterais e dos encontros;

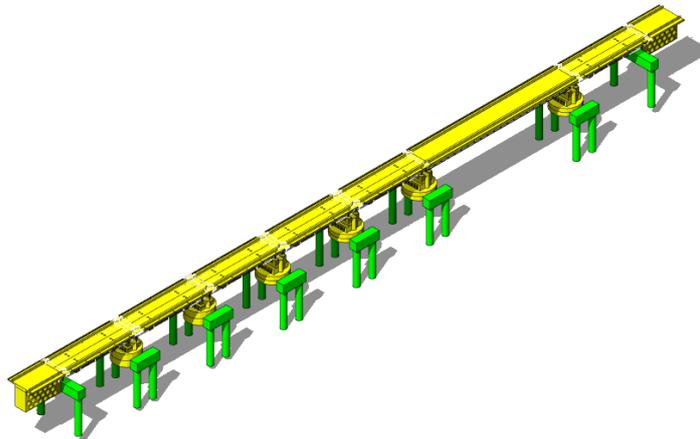


Figura 3 - Execução das estacas, dos blocos laterais e dos encontros em verde. Construção existente em amarelo.

- Fase 2: As protensões das vigas longarinas serão desativadas e retiradas e os pilares e as vigas de reforço serão demolidos;

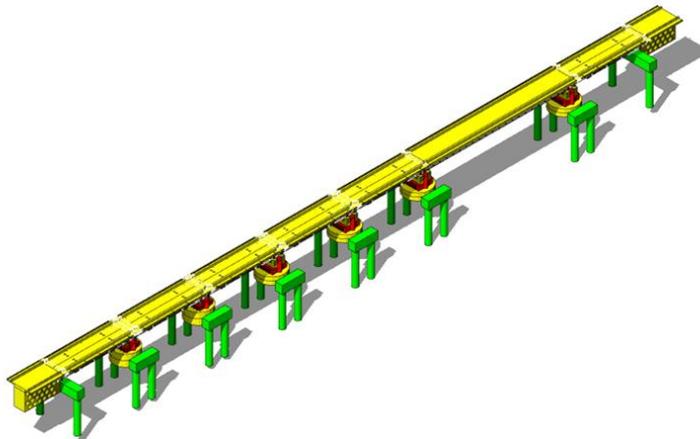


Figura 4 - Elementos que serão demolidos representados em vermelho.

- Fase 3: Serão executadas as novas vigas de apoio, fixados os novos aparelhos de apoio de neoprene e concretado o graute para o nivelamento do apoio;

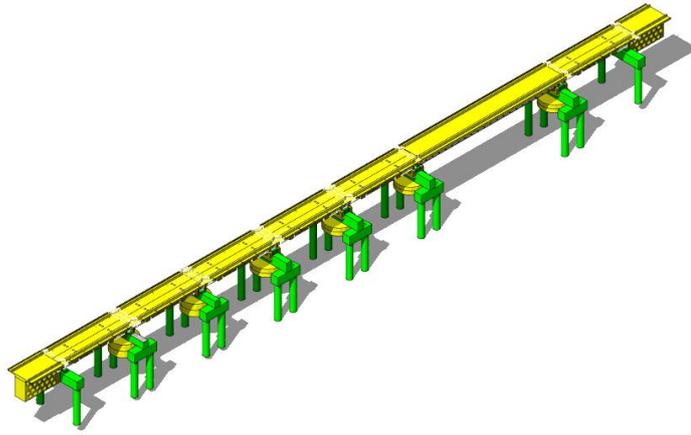


Figura 5 - Estrutura na terceira fase de reforço.

- Fase 4: Nessa fase haverá a transferência de carga para a nova viga e será feita a demolição da fundação existente;

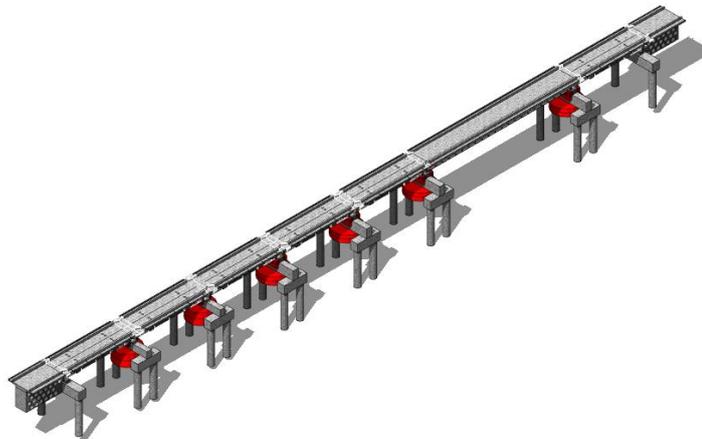


Figura 6 - Estrutura da ponte após a demolição dos últimos elementos da infraestrutura e da mesoestrutura.

- Fase 5: Será executada a nova proteção das vigas longarinas, demolindo assim os blocos desviadores para o reforço, parte de alguns reforços e trechos das transversinas.

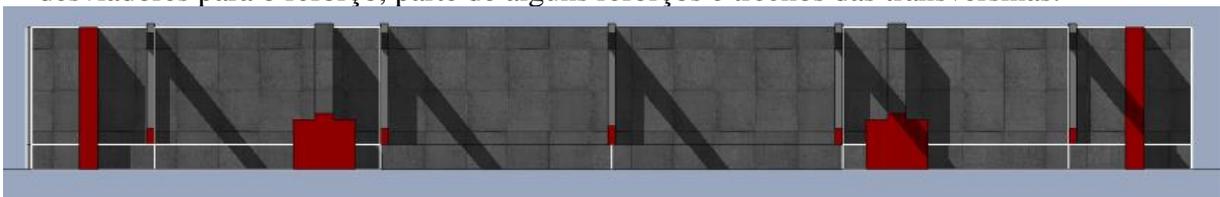


Figura 7 - Elementos que serão demolidos para locação da nova protensão.

- Fase 6: Na fase 6 será executado o reforço das lajes em concreto projetado e armaduras.

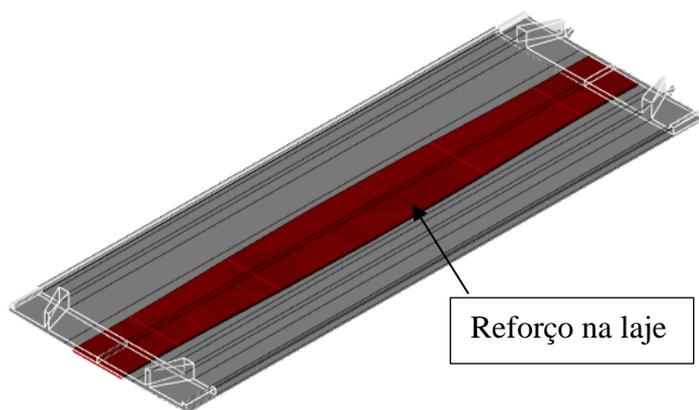


Figura 8 - Reforço em concreto projetado que será realizado na parte inferior das lajes.

- Fase 7: Na região dos encontros os vazios do bloco serão preenchidos com concreto magro e armaduras, serão executadas paredes de concreto nas laterais que serão apoiadas em um novo bloco e em estacas de 310 mm de diâmetro e comprimento de 10 metros.

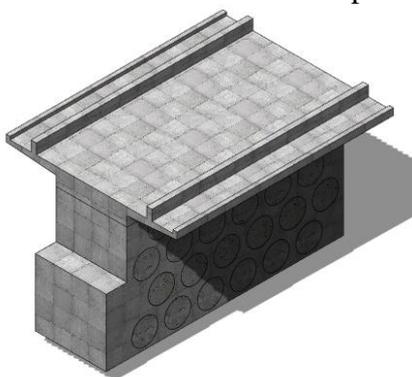


Figura 9 - Preenchimento dos vazios com concreto magro e armaduras.

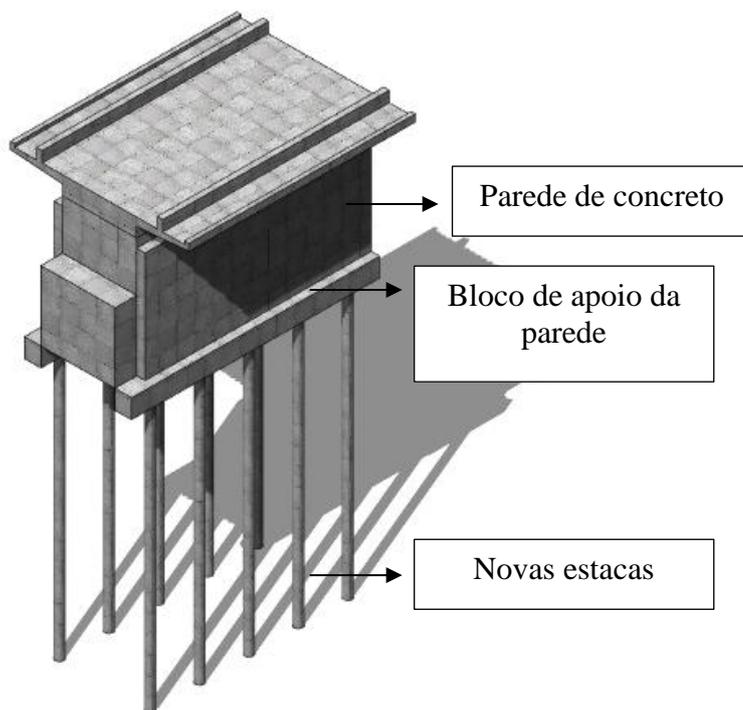


Figura 10 - Reforço que será realizado nos encontros.

- Fase 8: Na última fase do projeto de reforço serão executados os consoles nos blocos.

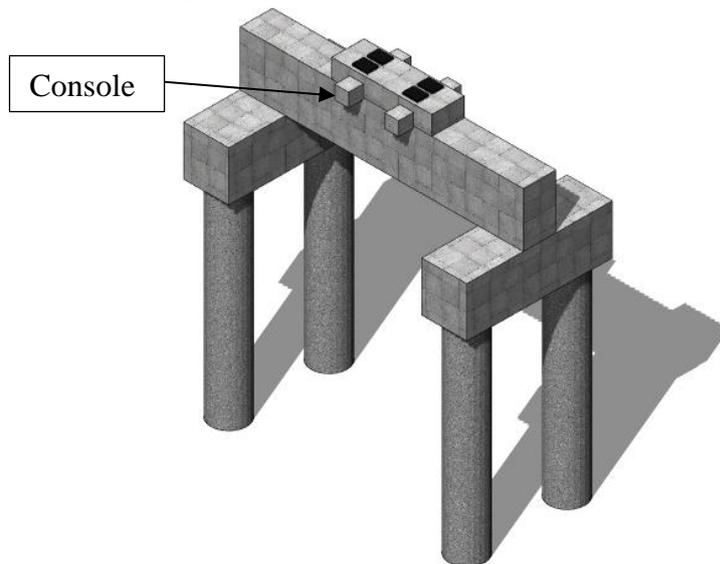


Figura 11 - Bloco 1 com os consoles construídos.

Na figura 12 é possível ver a configuração final da ponte após a obra de reforço.

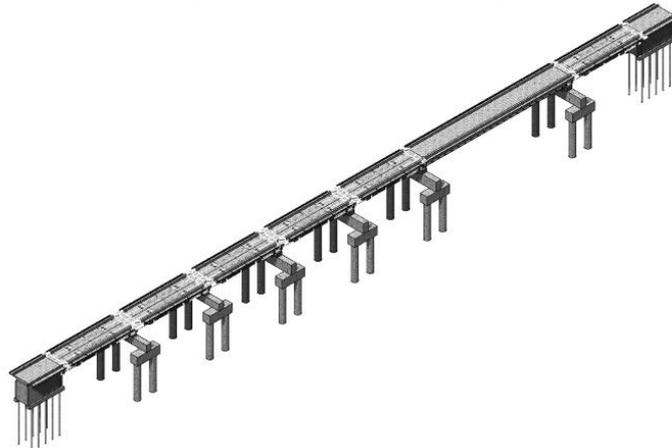


Figura 12 - Estrutura da ponte sobre o Rio Paraíba do Sul após a obra de reforço elaborado com o auxílio do software Allplan Engineering.

O BIM como um facilitador para o BMS

Para a ponte em estudo neste trabalho, o primeiro passo foi o cadastramento geométrico da OAE existente. Com essas informações em mãos, foi elaborado o projeto de reforço. Concomitantemente, foi desenvolvido o do modelo do ativo em um *software* BIM, no qual se criou um banco de dados com informações sobre o estado inicial da ponte, a construção existente, características dos materiais atuais, elementos que serão demolidos e a parte nova que será construída. Desta última, tem-se informações sobre o tipo de concreto e aço utilizado, informações sobre os novos aparelhos de apoio, ensaios realizados, entre outras. Dessa forma, após a conclusão da obra e nova inspeção cadastral, será possível alimentar o modelo e as informações serão utilizadas para a gestão do ativo, não necessitando fazer o levantamento de tais dados cada inspeção que for realizada.

Essa metodologia pode ser aplicada para qualquer tipo de OAE, basta definir os parâmetros que devem ser analisados e, a partir de uma matriz de prioridade e da análise de custo verificar a estratégia de manutenção.

Como resumo da atividade, elaborou-se o seguinte fluxograma para as atividades dentro do ambiente BIM, para que, de forma automatizada e com auxílio de algoritmos para definição do nível de deterioração do elemento, seja viável um sistema de gestão do ativo, apresentado na Figura 13.

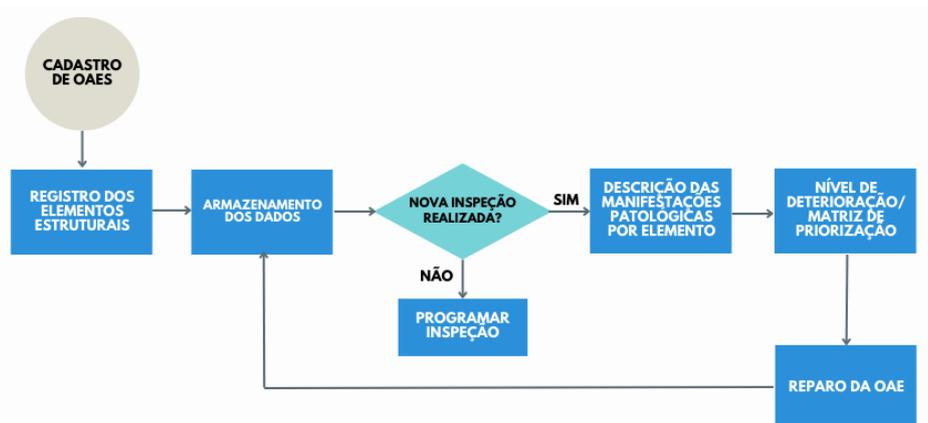


Figura 13 - Fluxograma de gestão do ativo.

Conclusões

A partir do estudo de caso realizado pode-se concluir que o BIM é um facilitador para o processo de gerenciamento de pontes considerando que as informações contidas no modelo como a geometria de uma ponte, os materiais que a compõem, as fases do seu ciclo de vida, dados sobre a sua situação atual, entre outras, faz com que se tenha um banco de dados que auxiliará nas inspeções, principal fonte de aquisição de dados dos ativos.

Com a adoção de um sistema de gerenciamento eficiente para a realidade de cada concessionária e a utilização do BIM pode-se ter um gêmeo digital da obra o que torna o processo de inspeção e manutenção mais eficaz, auxiliando no processo de tomada de decisão visto que, nesta fase, considera-se o custo de uma manutenção, por exemplo, e para isso tais informações podem ser retiradas a partir do próprio modelo fazendo-se o levantamento de quantitativo de materiais necessários para a obra.

Referências

- ANTF.** Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários, 2022. Disponível em: <https://www.antf.org.br/informacoes-gerais/#:~:text=Nesses%20mais%20de%2025%20anos,5%25%20de%20%E2%80%9Cshare%E2%80%9D>. Acesso em: 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 9452 - Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto - Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2019.
- BRASIL.** Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020 - Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da E, 06 janeiro 2023. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10306.htm.
- DNIT.** ISF - 216: Projeto de Obras de Arte Especiais. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. [S.l.]. 2015.
- HELENE,** Paulo Roberto do Lago. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 1992.
- LOPES,** Nuno Alexandre dos Santos. Inspeção de pontes ferroviárias em arcos de alvenaria. Instituto Politécnico de Tomar. Tomar. 2012.
- MANCHETTI,** Osvaldemar. Pontes de concreto armado. 2°. ed. [S.l.]: Blucher, 2018.

- MASINI, L.F** *et al.* Approach for management of bridge structures in a Heterogeneous Railway. IABMAS, 2021.
- MELO, Ladislao Roger Ticona.** Estudo de efeitos dinâmicos de pontes ferroviárias considerando interação veículo-estrutura, São Paulo, 2016.
- PFEIL, Walter.** Pontes em Concreto Armado. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1979.
- TRANSPORTES,** Departamento Nacional de Infraestrutura de. Norma DNIT 010/2004 - PRO - Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento. DNIT. Rio de Janeiro, p. 18. 2004.