

ENGENHARIA E GESTÃO DE ATIVOS DE INFRAESTRUTURA: DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS PARA SUPORTE À DEFINIÇÃO DO PLANO ESTRATÉGICO DE MANUTENÇÃO DE OAES.

Flavio Alexandre dos Reis, Joao Francisco Alves Junqueira, Luana de Conti Sampaio e
Leandro Simonete Pansan Granco.

RESUMO

Pontes e viadutos são elementos essenciais da infraestrutura ferroviária, desempenhando papel estratégico no desenvolvimento econômico regional. No Brasil, observa-se um recente estímulo à ampliação do transporte ferroviário, embora este enfrente o desafio de décadas de baixos investimentos em manutenção. Isso torna a preservação da segurança estrutural, funcionalidade e durabilidade dessas obras um complexo problema de engenharia. A gestão das obras de arte especiais (OAES), considerando a diversidade de sistemas estruturais, materiais e idades, representa um desafio estratégico para os órgãos responsáveis pela infraestrutura nacional. Nesse contexto, este trabalho propõe uma ferramenta de apoio à gestão de ativos, fundamentada em normas técnicas voltadas à inspeção, avaliação e manutenção de pontes e viadutos. Foram desenvolvidas matrizes de priorização que permitem hierarquizar intervenções conforme critérios técnicos, como estado de conservação, criticidade e impacto operacional. Inicialmente elaboradas em planilhas simplificadas, essas matrizes foram posteriormente ampliadas, incorporando novas variáveis e rotinas de avaliação. A tecnologia utilizada também evoluiu, destacando-se a adoção da plataforma ArcGIS, que viabiliza o mapeamento geoespacial dos ativos e a análise integrada dos dados coletados em inspeções. Como resultado, a ferramenta proposta reúne especificações normativas, métodos de priorização e suporte orçamentário, utilizando tecnologias atuais para aprimorar a gestão de ativos. Essa abordagem contribui para a segurança, eficiência operacional e sustentabilidade da infraestrutura brasileira.

Palavras-chave: Pontes ferroviárias; confiabilidade das estruturas; matriz de priorização; gestão de pontes; gestão de ativos.

ABSTRACT

Bridges are essential components of road and rail infrastructure, playing a strategic role in regional economic development. In Brazil, recent initiatives have focused on expanding rail transport, although these efforts face the challenge of decades of underinvestment in maintenance. This scenario presents complex engineering demands to ensure structural safety, functionality, and durability. Managing special engineering structures, considering the diversity of structural systems, materials, and service lives, is a strategic challenge for infrastructure authorities. This study proposes a support tool for asset management, based on technical standards related to the inspection, evaluation, and maintenance of bridges. Prioritization matrices were developed to rank interventions according to technical criteria such as condition, criticality, and operational impact. Initially implemented as simplified spreadsheets, these matrices have been expanded to include additional variables and evaluation routines. Technological resources have also evolved, notably with the adoption of the ArcGIS platform, which enables geospatial mapping of assets and integrated analysis of inspection data. The proposed tool consolidates normative specifications, prioritization methods, and budgetary support, leveraging current technologies to enhance asset

management. This approach contributes to improved safety, operational efficiency, and sustainability of Brazil's transportation infrastructure.

Keywords: Railway bridges, Structural reliability, Prioritization matrix, Bridge management, Asset management.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
2	METODOLOGIA	4
2.1	Aspectos técnicos das matrizes de priorização	5
2.2	Conceitos empregados na priorização de ativos	6
3	TECNOLOGIAS APLICADAS	9
3.1	Plataforma ArcGIS	9
3.2	Banco de dados estruturados	9
3.3	Automatização de relatórios	10
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
5	CONCLUSÃO	12

1 INTRODUÇÃO

As pontes e viadutos desempenham papel essencial na infraestrutura de transporte, garantindo a conectividade entre regiões viabilizando o fluxo contínuo de pessoas e cargas. Em sistemas rodoviários e ferroviários, as obras de arte especiais (OAEs) permitem a transposição de obstáculos naturais, como rios e vales, além de intersecções urbanas e vias expressas, promovendo a expansão e integração territorial.

No Brasil, um país de dimensões continentais, a presença de uma malha extensa e um grande número de OAEs tornam a gestão e manutenção desses ativos um desafio constante. Muitos desses elementos foram construídos há décadas, utilizando metodologias e materiais que podem não atender às demandas atuais de tráfego e carga. O crescimento da frota de veículos pesados e o aumento da demanda por transporte ferroviário impõem esforços adicionais às infraestruturas existentes, evidenciando a necessidade de monitoramento contínuo e intervenções planejadas.

Apesar da importância estratégica das pontes e viadutos, o setor enfrenta um histórico de baixo investimento em manutenção. Durante muito tempo, a abordagem predominante foi a manutenção corretiva, caracterizada por intervenções realizadas apenas quando os danos já comprometiam a segurança e a funcionalidade das estruturas. Esse modelo, além de gerar custos elevados, acarreta riscos operacionais significativos, podendo levar a falhas estruturais severas que impactam diretamente a mobilidade, a economia e até mesmo a segurança da população.

Diante desse cenário, a engenharia de infraestrutura tem evoluído para um modelo de gestão mais eficiente e sustentável, baseado na manutenção preventiva e preditiva. Essas abordagens envolvem a realização de inspeções periódicas, avaliações detalhadas das condições estruturais e o uso de ferramentas avançadas para prever falhas antes que ocorram. A implementação de novas tecnologias, como sensores para monitoramento remoto, análise de dados geoespaciais e inteligência artificial para detecção de anomalias, tem sido fundamental para aprimorar a eficiência das operações e prolongar a vida útil das OAEs.

A gestão de estruturas exige um planejamento criterioso, considerando a diversidade de sistemas construtivos, materiais utilizados e idades dos ativos. Para isso, a aplicação de ferramentas de monitoramento e de estratégias de manutenção é essencial para garantir a segurança operacional e otimizar a alocação de recursos. Nesse contexto, este artigo apresenta estratégias e soluções tecnológicas desenvolvidas para auxiliar na gestão dessas infraestruturas, integrando conceitos de engenharia de manutenção e normas técnicas que regulamentam as inspeções, as avaliações e as intervenções de manutenção. Além disso, discute-se a importância da digitalização dos processos e da centralização das informações para tornar a tomada de decisão mais ágil e eficiente.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo baseia-se na elaboração e aprimoramento de matrizes de priorização para manutenção de pontes e viadutos, baseadas nos requisitos técnicos da norma **ABNT NBR 9452 (2023) – Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas – Procedimento**. Essa norma define diretrizes para a realização de inspeções, classificações de anomalias e avaliação da condição das obras de arte especiais (OAEs).

As matrizes de priorização são ferramentas metodológica utilizada para organizar e hierarquizar ações ou decisões com base em critérios previamente definidos. Inicialmente desenvolvidas em planilhas eletrônicas, essas matrizes possibilitam uma abordagem sistemática para determinar a temporalidade das intervenções, considerando critérios técnicos essenciais, tais como:

- **Estado de conservação:** avaliação qualitativa do nível de degradação da estrutura, fundamentada em inspeções visuais.
- **Criticidade:** análise do impacto de uma eventual falha na segurança e operação da infraestrutura;
- **Impacto operacional:** avaliação da influência da OAE na continuidade do serviço de transporte e no fluxo viário.

Com a evolução do estudo, as matrizes foram ampliadas para incorporar um conjunto mais abrangente de variáveis e metodologias de análise, alinhadas às diretrizes da NBR 9452. Dessa forma, a avaliação passou a contemplar os seguintes aspectos:

- **Identificação dos danos:** mapeamento de defeitos estruturais, como fissuras, corrosão de armaduras, deslocamentos de concreto e recalques diferenciais, com levantamento de variáveis que indiquem suas dimensões e região de abrangência, tendo como objetivo compará-los a um limite ou padrão de referência;
- **Determinação dos graus de severidade:** categorização dos danos identificados e mapeados de acordo com seu impacto na funcionalidade e segurança da estrutura;
- **Avaliação da necessidade de intervenções:** definição de ações corretivas ou preventivas conforme o grau de severidade identificado;
- **Registro sistemático das inspeções:** padronização da coleta de dados e documentação das condições estruturais ao longo do tempo, permitindo análises comparativas e tomada de decisão mais eficiente.

Além disso, foram implantadas novas rotinas de análise para otimizar a priorização das manutenções. Essas rotinas consideram variáveis como idade da estrutura, volume de tráfego, histórico de inspeções e disponibilidade de recursos para intervenções. Com essas melhorias, busca-se não apenas a identificação precoce de falhas estruturais, mas também a formulação de estratégias mais eficientes para garantir a segurança, a durabilidade e o desempenho das OAEs.

2.1 Aspectos técnicos das matrizes de priorização

Para o desenvolvimento das matrizes de priorização das OAEs, foram empregados conceitos de diversas disciplinas da engenharia civil e de manutenção. O objetivo foi desenvolver uma ferramenta capaz de quantificar o grau de deterioração estrutural através da estimativa do risco associado aos danos identificados nos elementos que compõem a estrutura.

Inicialmente, foi padronizado o processo de cadastro dos ativos, adotando-se a discretização da estrutura em componentes. Essa abordagem permitiu uma organização sistemática dos dados, fundamentada na filosofia de orientação direcionada ao objeto. Essa metodologia utiliza conceitos como a criação de classes de objetos, que representam sistemas de interesse discretizados para o cadastro e análise das estruturas. As classes idealizadas, aplicadas para a discretização dos ativos, estão ilustradas na Figura 1.

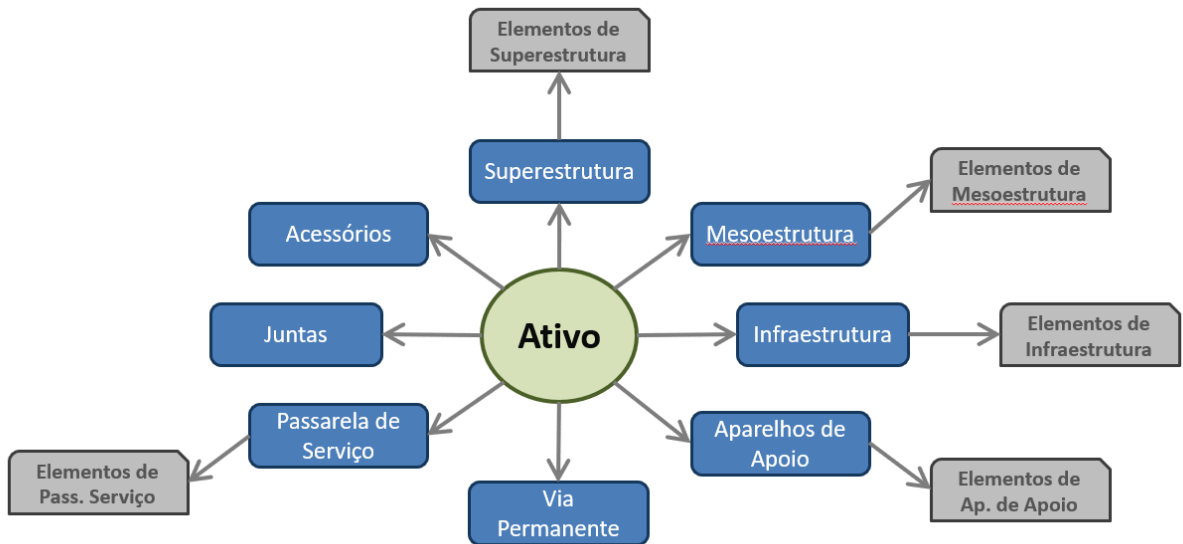


Figura 1 – Discretização do ativo e relações entre classes

2.2 Conceitos empregados na priorização de ativos

Na engenharia de manutenção, o conceito de risco é frequentemente definido como uma relação que combina a probabilidade de falha de um elemento com a consequência dessa falha, representando a gravidade potencial dos impactos associados. A equação que descreve essa relação pode ser expressa como:

$$Risco = Prob. de Falha \times Consequência$$

Esse conceito foi empregado para priorizar as intervenções nos ativos, onde o risco representa um valor relativo que indica a urgência em realizar intervenção na estrutura. Logo, ativos com risco relativo maior devem ter suas intervenções priorizadas.

A probabilidade de falha de uma estrutura civil está associada à chance de um sistema estrutural atingir um estado de desempenho defeituoso ou ruína durante a sua utilização normal. Embora essa probabilidade não seja expressamente definida em normas de projeto e operação estrutural, esses valores são implicitamente considerados como referência na elaboração dessas normas.

Na avaliação de estruturas existentes, a identificação de danos sugere um possível comprometimento do desempenho estrutural, aproximando a estrutura de um estado de desempenho defeituoso ou de ruína. Isso, conseqüentemente, eleva a probabilidade de falha do ativo.

Os danos identificados em inspeções estão sendo utilizados como base para a quantificação da probabilidade de falha dos componentes estruturais. Além disso, os resultados dos ensaios de campo e laboratoriais realizados nos materiais do ativo, assim como os dados obtidos através de sensores em campanhas de instrumentação, fornecem informações sobre seu desempenho. Esses dados permitem avaliar o quão distante o desempenho deste ativo está dos padrões de qualidade esperados, contribuindo para a identificação de medidas corretivas e preventivas mais eficazes.

Os índices de probabilidade de falha, calculados a partir dos danos mapeados durante inspeções e nos resultados de ensaios realizados, serão utilizados para quantificar o risco que um determinado dano ou resultado representa. Essa quantificação indicará o potencial de o elemento não atender aos requisitos de funcionalidade, durabilidade e estabilidade estrutural.

O procedimento adotado permite que, no cálculo da probabilidade de falha associado ao dano identificado na inspeção, a severidade do dano seja considerada por meio de sua extensão. Por exemplo, danos lineares, como fissuras de flexão e cisalhamento, serão relacionados ao comprimento do elemento. Da mesma forma danos que se estendem em duas dimensões serão relacionados a área lateral, e danos volumétricos serão associados ao volume do elemento. Para considerar as diferentes naturezas de dano e, portanto, os diferentes níveis de comprometimento desse dano, a razão entre as dimensões do dano e do elemento estrutural deve ser ponderada pelo fator w_{dano} .

$$Prob_{\text{dano}} = \frac{d_{\text{1.dano}}}{d_{\text{elem}}} w_{\text{dano}}$$

Dessa forma o índice de probabilidade relativo ao dano em determinado elemento estrutural é definido como um número adimensional ou percentual, calculado com base nas características geométricas do elemento e ponderado pelo grau de comprometimento representado pela natureza do dano (peso do dano, fator w_{dano}).

Após a ponderação dos efeitos dos danos nos elementos estruturais, considera-se também a relevância do elemento para o sistema do qual faz parte. Assim, elementos como contraventamentos possuem menor relevância que vigas transversinas, que por sua vez, tem menor relevância em relação às vigas longarinas, no caso de sistemas em vigas.

Por fim, realiza-se a ponderação do sistema em relação ao ativo. Os sistemas podem incluir superestrutura, mesoestrutura, aparelhos de apoio, infraestrutura, entre outros. Para cada um desses sistemas, é atribuído um peso específico, representando a sua importância e funcionalidade para o sistema estrutural como um todo.

Na etapa atual do estudo, o cálculo da probabilidade baseia-se somente no resultado de inspeções rotineiras e detalhadas, ainda sem incorporar os resultados dos ensaios realizados. Portanto, as equações a seguir ilustram como a probabilidade de falha do ativo é determinada em função dos danos mapeados na inspeção e nas diferentes funcionalidades atribuídas a cada elemento e parte da estrutura.

Nessas equações é possível identificar a discretização do ativo e a aplicação do conceito de herança no sentido inverso, o ativo (pai) herda a probabilidade de falha dos seus sistemas (filhos) que por sua vez herda a probabilidade de falha de seus elementos (netos), e a probabilidade de falha está relacionada com os danos do elemento.

$$\begin{aligned}
Prob_{ativo} &= \left(\sum_{sist=1}^{n_{sist}} Prob_{sist} \right) w_{ativo} Prob_{proj} w_{subjetivo} \\
Prob_{sist} &= \left(\sum_{el=1}^{n_{elem}} Prob_{elem_{el}} \right) w_{sist} \\
Prob_{elem} &= \left(\sum_{d=1}^{n_{danos}} Prob_{dano_d} \right) w_{elem} \\
Prob_{dano} &= \frac{d_{1,dano}}{d_{elem}} w_{dano} \varphi(d_{2,dano})
\end{aligned}$$

Onde:

$Prob_{proj}$ é a probabilidade de projeto assumida através do coeficiente de segurança global ou dos coeficientes de segurança parciais;

$Prob_{ativo}$ é a probabilidade de falha do ativo referente a probabilidade acumulada de falha de todos os sistemas do ativo conforme o cadastro da estrutura;

$Prob_{sist}$ é a probabilidade de falha do sistema referente a probabilidade acumulada de falha de todos os elementos do sistema conforme o cadastro da estrutura;

$Prob_{elem}$ é a probabilidade de falha do elemento referente a probabilidade acumulada de falha de todos os danos mapeados no elemento;

$Prob_{dano}$ é a probabilidade de falha que o dano representa ao elemento;

w_{ativo} é o peso do ativo em relação ao trecho ou ramal ferroviário, conforma planilha (conceito em desenvolvimento);

w_{sist} é o peso do sistema em relação ao ativo, conforma planilha;

w_{elem} é o peso do elemento em relação ao sistema estrutural, conforma planilha;

w_{dano} é o peso do dano em relação ao elemento ou material estrutural, conforma planilha;

$d_{n,dano}$ é a dimensão n do dano medida na inspeção;

d_{elem} é a dimensão do elemento referente ao tipo de dimensão do dano associado;

$\phi(d_{2,dano})$ é a função de ponderação determinada a partir da dimensão 2 do dano medida na inspeção;

O termo ‘Consequência’ da equação 1 está associado aos impactos decorrentes da falha de um componente ou do ativo como um todo. Na literatura, é possível identificar diferentes abordagens para quantificar essa variável. A mais amplamente usada e aceita associa a consequência da falha às perdas financeiras geradas, incluindo a depreciação da imagem da empresa perante a sociedade e seus clientes.

As perdas financeiras podem ser estimadas a partir de diversos fatores, que vão desde o custo do componente ou ativo que falhou, ou possa vir a falhar, até os custos gerados com o processo de recuperação ou substituição.

Entretanto, em empresas do ramo ferroviário, os custos associados ao valor financeiro do ativo e seus componentes podem ser pouco significativos se comparados ao custo de paralisação da operação ferroviária. Esses incluem os custos diretos, associados com a interrupção imediata da circulação, além de custos indiretos, como multas contratuais devido ao descumprimento de prazo e volumes transportados.

Para o método de priorização de OAEs, inicialmente admitiu-se que a consequência da falha fosse representada pelo valor financeiro do ativo e seus componentes. Para a determinação desses valores foram considerados os valores informados nas apólices de seguro dos ativos, fornecendo uma estimativa clara e consistente para o cálculo inicial de prioridades

No futuro, a estimativa da consequência poderá incluir os custos associados à paralisação da operação ferroviária, que frequentemente superam os valores dos próprios ativos. No entanto, essa estimativa demanda análises complexas que envolvem iteração entre diversos setores da empresa. Assim, a consideração desses custos será considerada como parte do processo de melhoria contínua e do desenvolvimento do processo de priorização e da ferramenta de gestão de manutenção de ativos.

3 TECNOLOGIAS APLICADAS

O aprimoramento das ferramentas de gestão de ativos tem sido impulsionado pela incorporação de tecnologias digitais que aumentam a eficiência, a precisão e a capacidade analítica dos processos. Destacam-se, entre essas tecnologias:

3.1 Plataforma ArcGIS

O ArcGIS é uma plataforma de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) desenvolvida pela *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), amplamente utilizada no mapeamento, análise e gestão de informações geoespaciais. Conforme Guimarães et al. (2021), um SIG é composto por um conjunto de tecnologias que incorporam inteligência geográfica e funções automatizadas, permitindo a execução de consultas, transformações e análises complexas, de modo a subsidiar a gestão e a tomada de decisão com base em informações geográficas.

Sua arquitetura integra um conjunto robusto de ferramentas que permitem coletar, armazenar, processar e compartilhar dados geográficos, atendendo a demandas que vão desde estudos ambientais até o planejamento de infraestrutura. Por meio de recursos avançados de visualização e análise espacial, o ArcGIS oferece suporte à tomada de decisão baseada em evidências geográficas, favorecendo a integração entre dados técnicos e representações cartográficas precisas (Martins et al., 2014; Guimarães et al., 2021).

A utilização do ArcGIS permite o georreferenciamento dos ativos, associando dados de inspeção a coordenadas geográficas. Isso possibilita a visualização espacial, facilitando a identificação de regiões críticas e a otimização de rotas para equipes de manutenção.

Ademais, o ArcGIS possibilita a integração de camadas de informação, como histórico de inspeção e condições ambientais, permitindo uma análise preditiva da degradação estrutural.

O ArcGIS Experience Builder (AEB) constitui uma ferramenta *low-code* desenvolvida pela ESRI. Trata-se de um conjunto integrado de aplicações para elaboração, manipulação e gerenciamento de bases temáticas (Martins et al., 2014). O Experience Builder possibilita desenvolver aplicações web personalizadas, integrando mapas e dados para a construção de interfaces gráficas de forma simplificada e intuitiva. Sua interface *drag-and-drop*, aliada a uma variedade de *widgets* — pequenos módulos que oferecem funcionalidades específicas — pré-configurados, torna o processo de criação acessível (Szukalski, 2021). Adicionalmente, oferece suporte à criação de *widgets* personalizados por meio da linguagem JavaScript, atendendo usuários mais experientes que utilizam a versão destinada a desenvolvedores (Song & Rehkemper, 2022). Pela facilidade de criação de representações e visualizações geográficas associadas a dados, essas tecnologias têm sido amplamente empregadas no desenvolvimento de aplicações web o que deixa o sistema mais intuitivo.

O ArcGIS Survey123, por sua vez, é um componente da plataforma ArcGIS concebido para a criação de formulários personalizados, utilizado para inspeções dos ativos em campo. Nessa inspeção é utilizado o cadastro de todos os elementos (Superestrutura, mesoestrutura, infraestrutura e acessórios) de cada ativo direcionando ainda mais o que será inspecionado. Sua interface amigável e de fácil utilização permite o desenvolvimento de formulários web ou pesquisas por meio de um ambiente *drag-and-drop*, similar ao do Experience Builder. Após a etapa de coleta, o Survey123 disponibiliza recursos avançados de visualização e análise, possibilitando a geração de relatórios e gráficos que favorecem a interpretação aprofundada dos dados obtidos. Além disso, integra-se de forma nativa a outros componentes do ArcGIS, viabilizando, por exemplo, a criação de mapas dinâmicos na web.

3.2 Banco de dados estruturado

Os bancos de dados estruturados caracterizam-se pela organização lógica das informações em tabelas, compostas por linhas e colunas que armazenam dados de maneira padronizada. Esse modelo permite fácil consulta, filtragem e atualização das informações por meio de linguagens como SQL (Structured Query Language), garantindo integridade e consistência nos registros. A estrutura tabular facilita a definição de chaves primárias e estrangeiras, que asseguram a relação coerente entre diferentes conjuntos de dados. Além disso, mecanismos de controle de acesso e autenticação fortalecem a segurança, restringindo operações a usuários autorizados e minimizando riscos de perda ou alteração indevida das informações (Date, 2004).

Outro aspecto essencial dos bancos de dados estruturados é a capacidade de estabelecer ligações entre tabelas por meio de relacionamentos. Essa abordagem, conhecida como modelo relacional, possibilita a criação de consultas complexas que integram dados de diferentes origens, proporcionando uma visão mais ampla e correlacionada das informações. A normalização, processo de organização das tabelas para reduzir redundâncias e inconsistências, contribui para maior eficiência no armazenamento e na recuperação de dados, ao mesmo tempo que favorece a escalabilidade e a manutenção do sistema ao longo do tempo (Silberschatz; Korth; Sudarshan, 2019).

No contexto geoespacial, bancos de dados georreferenciados representam uma extensão dos bancos estruturados, incorporando informações associadas a coordenadas geográficas. Esse tipo de banco de dados armazena não apenas atributos descritivos, mas também dados espaciais, como pontos, linhas e polígonos, que permitem representar elementos no espaço físico. Ao integrar ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), é possível realizar análises espaciais, sobrepor camadas de informação, identificar padrões geográficos e apoiar a tomada de decisão em áreas como planejamento urbano, gestão ambiental e monitoramento de infraestrutura. Dessa forma, bancos de dados georreferenciados combinam a robustez do modelo relacional com a capacidade de representar e analisar fenômenos no território (Longley et al., 2015).

3.3 Automatização de relatórios

A geração automatizada de relatórios proporciona maior eficiência no acompanhamento dos ativos, reduzindo o tempo gasto com documentação manual e minimizando erros humanos. Com base nos dados coletados e armazenados no banco de dados, é possível gerar diagnósticos detalhados sobre o estado das estruturas, indicando a necessidade de intervenções corretivas ou preventivas. Além disso, a automatização possibilita a geração de dashboards interativos, permitindo uma visualização intuitiva dos indicadores-chave de desempenho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implantação das ferramentas propostas resultou em melhorias significativas na gestão das OAEs. Entre os principais avanços, destacam-se:

- **Maior previsibilidade na gestão de manutenção:** A hierarquização das intervenções permitiu um planejamento mais eficiente, possibilitando a alocação de recursos de forma estratégica. Com a categorização das estruturas conforme seu estado de conservação e criticidade, foi possível antecipar necessidades de manutenção e evitar falhas inesperadas que poderiam comprometer a operação.
- **Redução de custos:** A implementação de um modelo baseado em manutenção preventiva minimizou custos relacionados a reparações emergenciais e intervenções corretivas de grande porte. O planejamento eficiente das inspeções e manutenções permitiu uma alocação mais inteligente dos recursos, otimizando os investimentos na conservação das infraestruturas.
- **Segurança aprimorada** A identificação precoce de falhas estruturais reduziu significativamente os riscos de colapso ou restrições operacionais. A utilização de dados geoespaciais e análises preditivas tornou possível detectar padrões de degradação e atuar de forma preventiva, garantindo a integridade das estruturas e a segurança dos usuários.
- **Gestão otimizada:** O uso da tecnologia geoespacial proporcionou um monitoramento em tempo real das condições das OAEs. Isso permitiu que as equipes responsáveis pela manutenção tivessem acesso a informações atualizadas e

precisas, facilitando a tomada de decisões e garantindo um acompanhamento mais eficaz das intervenções planejadas.

5 CONCLUSÃO

Em complexas malhas ferroviárias, ou até mesmo rodoviárias, a gestão de grande quantidade de ativos de obras de arte especiais é um desafio, principalmente considerando a sua diversidade de idades, materiais, sistemas estruturais e níveis de utilização, além de outros fatores importantes, tal como a operação de produtos perigosos, questões ambientais e densidade operacional do trecho. Dessa forma, a matriz de priorização é uma importante ferramenta que permite ao gestor um direcionamento mais eficiente de recursos em ativos que possam ter seus requisitos de funcionalidade, durabilidade ou segurança estrutural abaixo de um nível de desempenho desejado num curto prazo, evitando-se paralizações indesejadas no transporte ferroviário.

De maneira geral o desenvolvimento de ferramentas para gestão de obras de arte especiais representa um avanço significativo na engenharia de infraestrutura, proporcionando maior segurança, eficiência operacional e sustentabilidade. A incorporação de tecnologias como o ArcGIS e a ampliação de matrizes de priorização são passos fundamentais para modernizar o setor.

Futuros módulos do sistemas irão explorar a integração com Inteligência Artificial e Machine Learning, BIM e gêmeos digitais para aprimorar a previsibilidade e eficiência na manutenção dessas infraestruturas vitais para a mobilidade e o desenvolvimento econômico do país.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7187: Projeto de pontes de concreto armado e protendido. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BARROS, M. H.; MEDEIROS, M. H. Avaliação de estruturas de concreto: Inspeção e Diagnóstico. São Paulo: Pini, 2014.

COSTA, M. H.; SOUSA, J. F. Gestão de Infraestruturas de Transporte: Inspeção e Manutenção de Pontes e Viadutos. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2020.

DATE, C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Boston: Addison-Wesley, 2004.

DELLAZZANA, D. A.; AGUIAR, R. Critérios de Avaliação em Pontes e Viadutos: Inspeção e Gestão de Obras de Arte Especiais. Revista de Engenharia Civil, v. 25, n. 2, p. 45-62, 2020.

Guimarães, J. C. de O., de Carvalho, V. S., da Silva, T. C. G., Ferreira, A. A., Barbosa, I. M. B. R., Bandeira, M. S., & Lima, A. S. C. (2021). Inteligência geográfica e tecnologia na contribuição ao acesso de pessoas com deficiência ao transporte público no Recife / Geographic intelligence and technology in contributing to the access of people with disabilities to public transport in Recife. *Brazilian Journal of Development*, 7(2), 17187–17198. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-376>

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. *Geographic Information Systems and Science*. 4th ed. Hoboken: Wiley, 2015.

Martins, E. M., Fortes, J. D. N., Ribeiro, G. P., & Pereira, M. F. M.. (2014). Utilização de Sistema de Informação Geográfica como ferramenta para gestão do monitoramento da qualidade do ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 19(spe), 43–50. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019010001237>

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. *Manual de Inspeção de Obras de Arte Especiais (DNIT 010/2004-PRO)*. Brasília: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2004.

RIBEIRO, M. C.; ALMEIDA, S. *Metodologias para a Gestão de Manutenção de Infraestruturas Viárias*. *Revista Brasileira de Engenharia Civil*, v. 19, p. 155-170, 2018.

Rehkemper, G., & Song, J. (2022). Add Experience Builder Custom Widgets In ArcGIS Enterprise. Esri. <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-enterprise/developers/add-experience-builder-custom-widgets-in-arcgis-enterprise/>

ROCHA, C. B.; SILVA, F. P. *Avaliação Estrutural de Pontes: Procedimentos e Normas Técnicas*. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Civil*, 2019.

SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H. F.; SUDARSHAN, S. *Database System Concepts*. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 2019.

SOUZA, V. M.; ALMEIDA, M. A. *Inspeção e Monitoramento de Pontes em Concreto Armado: Uma abordagem baseada na NBR 9452*. *Revista de Engenharia de Estruturas*, v. 17, n. 3, p. 123-138, 2021.

ZANON, R. *Gestão e Manutenção de Obras de Arte Especiais: Desafios e Perspectivas*. In: *Simpósio Brasileiro de Infraestrutura de Transporte*, 2022.

Szukalski, B. (2021). ArcGIS Experience Builder overview and concepts. Esri. <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/experience-builder/mapping/experience-builder-overview/>