Recomendação Técnica

GESTÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

VERSÃO MAIO DE 2026

Realização

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL
ABECE

ABPE
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ALCONPAT BRASIL

IBRACON

Apoio

IABMAS BRAZIL
INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR BRIDGE MAINTENANCE AND SAFETY

GESTÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

Coordenação/Autoria: João Francisco Alves Junqueira.

Comissão de coautoria e desenvolvimento: Ademir Ferreira dos Santos, Pâmela Souza da Silva, Paulo de Tarso Cronemberger Mendes, Ricardo Borges Kerr, Vinicius Ippolito.

Comissão de revisão: Guilherme Aris Parsekian, Iberê Martins da Silva, Zacarias Martin Chamberlain Pravia.

1ª Edição

ABECE
Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural

ABPE
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ALCONPAT BRASIL
Associação Brasileira de Patologia das Construções

IBRACON
Instituto Brasileiro do Concreto

São Paulo – 2026

Coordenação/Autoria: João Francisco Alves Junqueira.

Comissão de coautoria e desenvolvimento: Ademir Ferreira dos Santos, Pâmela Souza da Silva, Paulo de Tarso Cronemberger Mendes, Ricardo Borges Kerr, Vinicius Ippolito.

Comissão de revisão: Guilherme Aris Parsekian, Iberê Martins da Silva, Zacarias Martin Chamberlain Pravia.

ABECE / ABPE / ALCONPAT BRASIL / IBRACON:
GESTÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS
Primeira Edição. São Paulo. 56p. 2026.

ISBN 978-85-69755-05-0

Copyright© 2026 ABECE/ABPE/ALCONPAT BRASIL/IBRACON. Todos os direitos reservados. Este livro e suas partes não podem ser reproduzidos nem copiados, em nenhuma forma de impressão mecânica, eletrônica ou qualquer outra, sem o consentimento por escrito dos editores. Esta é a primeira edição.

Capa: Ponte Rio Niterói.

Diagramação: Diagrama Editorial

Esta publicação da ABECE, ABPE, ALCONPAT BRASIL e IBRACON destina-se a orientação no projeto, gerenciamento, planejamento, execução, reabilitação e controle de obras. Este documento é destinado ao uso de profissionais competentes em avaliar a importância e limitações de seu conteúdo e de suas recomendações, os quais aceitam a responsabilidade pela inclusão das informações que ele contém. A ABECE, ABPE, ALCONPAT BRASIL e IBRACON se isentam de qualquer e toda a responsabilidade pelos princípios declarados, e não se responsabilizam por qualquer perda ou dano de uso inadequado das informações aqui contidas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 6
2. OBJETIVO 8
3. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL 10
3.1. Estudos preliminares 10
3.2. Segurança operacional integrada à concepção estrutural 11
3.3. Desenvolvimento do projeto 12
4. PROJETOS DE MANUTENÇÃO 13
4.1. Projeto Conceitual 14
4.2. Projeto Básico 15
4.3. Projeto Executivo 15
4.4. Avaliação da Conformidade do Projeto e Inspeção Acreditada 16
5. MONITORAMENTO DO DESEMPENHO 16
5.1. Parâmetros de desempenho 16
5.2. Inspeções segundo a ABNT NBR 9452:2023 17
5.3. Referências internacionais e avaliações complementares 17
6. AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL 19
6.1. Análises teóricas e verificações normativas 19
6.2. Retroanálise e confrontos normativos 20
6.3. Avaliações teórico-experimentais 21
7. GESTÃO DE RISCOS E PRIORIZAÇÃO DAS INTERVENÇÕES 22
7.1. Metodologias de avaliação de risco aplicadas a OAEs 23
7.2. Aplicação de matrizes de priorização 24
8. DEFINIÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO 26
9. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E CUSTOS DE MANUTENÇÃO 27
9.1. Conceitos e metodologia da LCCA aplicada a OAEs 28
9.2. Custos diretos e indiretos na tomada de decisão 29
9.3. Comparação entre alternativas de intervenção 30
9.4. Papel dos bancos de dados históricos de desempenho 30
10. PLANEJAMENTO DAS INTERVENÇÕES E EXECUÇÃO DE OBRAS 31
10.1. Metodologias de gestão de projetos aplicadas às intervenções 31
10.2. Elaboração de orçamentos e contratações de obras 32
10.3. Licenciamento ambiental e autorizações especiais 33
10.4. Controle de qualidade, rastreabilidade e segurança do trabalho 33
10.5. Aceitação da obra e garantia 33
10.6. Visão integrada do ciclo de intervenções 34
11. GESTÃO DE AÇÕES EMERGENCIAIS, RISCO OPERACIONAL E RESILIÊNCIA 34
11.1. Importância das Ações Emergenciais 35
11.2. Identificação e classificação de ameaças 35
11.3. Exemplos de Ações Emergenciais 35
11.4. Planejamento e Execução de Atendimentos Emergenciais 36
11.5. Temporalidade das Ações e Importância do Reestabelecimento 36
11.6. Estratégias de resiliência em situações emergenciais 37
11.7. Eventos extremos 37
12. ESPECIFICAÇÕES E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS 37
12.1. Importância da documentação e padronização 38
12.2. Rastreabilidade e controle de qualidade 38
12.3. Retenção do conhecimento técnico e lições aprendidas 38

13. GESTÃO DE CONTRATOS 39
13.1. Importância da Qualificação de Fornecedores 39
13.2. Controle de Prazo, Custo e Produtividade 39
13.3. Monitoramento da Saúde do Fornecedor 39
13.4. Cumprimento de Obrigações Trabalhistas e Fiscais 39
13.5. Compliance e Governança Contratual 40
14. TREINAMENTOS DE CAPACITAÇÃO TÉCNICA 40
14.1. Importância da Capacitação Técnica 40
14.2. Desenvolvimento e Disseminação do Conhecimento 40
14.3. Retenção e Gestão do Conhecimento 41
14.4. Cultura de Excelência e Inovação 41
15. AÇÕES JUNTO A ÓRGÃOS REGULADORES E ÁREAS DE INTERFACE 43
15.1. Conformidade regulatória e contratual 43
15.2. Controle de indicadores de desempenho 43
15.3. Auditorias internas e externas 44
15.4. Relações institucionais e áreas de interface 44
15.5. Questões jurídicas e conflitos de faixa de domínio 45
16. PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA 45
16.1. Incentivo à pesquisa e desenvolvimento 45
16.2. Novos ensaios e métodos avançados de avaliação estrutural 46
16.3. Utilização de drones aéreos na inspeção de OAEs 47
16.4. Inspeções submersas com veículos robóticos 48
16.5. Modelagem BIM na gestão de OAEs 49
16.6. Gêmeos digitais de OAEs 50
17. CONSIDERAÇÕES FINAIS 53

LISTA DE SIGLAS

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*
ABECE – Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural
ABMS – Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABPE – Associação Brasileira de Pontes e Estruturas
ACP – Avaliação da Conformidade do Projeto
ALCONPAT – Associação Brasileira de Patologia das Construções
ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
APP – Área de Preservação Permanente
AREMA – *American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association*
ARTESP – Agência de Transporte do Estado de São Paulo
ATO – Acompanhamento Técnico da Obra
BIM – *Building Information Modeling*
CAE – Custo Anual Equivalente
CAPEX – *Capital Expenditure*
CDE – *Common Data Environment*
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ELU – Estado Limite Último
ELS – Estado Limite de Serviço
END – Ensaios Não Destrutivos
FEL – *Front-End Loading*
fib – *International Federation for Structural Concrete*
IABMAS-BRAZIL – *International Association for Bridge Maintenance and Safety – Brazil*
IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISO – *International Organization for Standardization*
LCCA – *Life-Cycle Cost Analysis*
LI / LP / LO – Licença de Instalação / Licença Prévia / Licença de Operação
MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços
NRs – Normas Regulamentadoras
OAE – Obra de Arte Especial
OAEs – Obras de Arte Especiais
OPEX – *Operational Expenditure*
PD&I / P&D – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PGRCC – Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PMBOK – *Project Management Body of Knowledge*
PSST – Plano de Segurança e Saúde no Trabalho
RDT – Recursos para Desenvolvimento Tecnológico
ROV – *Remotely Operated Vehicle*
SGQ – Sistema de Gestão da Qualidade
SHM – *Structural Health Monitoring*
SLA – *Service Level Agreement*
TU 1406 – *Quality Specifications for Roadway Bridges*
VPL – Valor Presente Líquido

1. INTRODUÇÃO

As Obras de Arte Especiais (OAEs) são componentes importantes da infraestrutura de transportes, cumprindo papel essencial na conectividade, na mobilidade e no desenvolvimento econômico das regiões. Essas estruturas viabilizam o deslocamento eficiente de pessoas e mercadorias, reduzem distâncias, integram áreas urbanas e rurais e influenciam diretamente na competitividade e eficiência logística do país.

Um estudo recente, publicado em 2024 sob o título *Panorama Geral das Pontes Rodoviárias Brasileiras*, elaborado a partir de dados do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e da Agência de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP), estima que existam aproximadamente 113 mil pontes e viadutos nas rodovias no território nacional. Essa quantidade evidencia a escala e a complexidade do desafio de manter essas estruturas em níveis adequados de segurança, funcionalidade e desempenho ao longo do tempo.

Na Figura 1 pode-se observar a distribuição geográfica das pontes rodoviárias no território brasileiro.

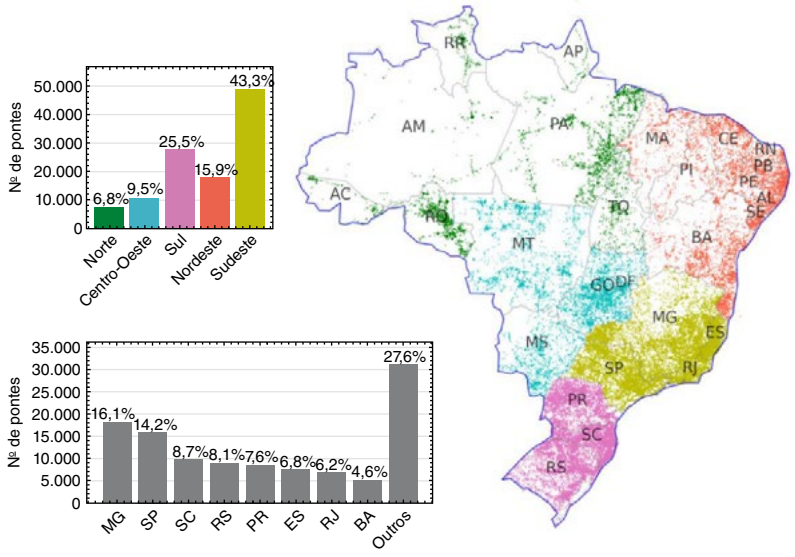

Figura 1: Distribuição geográfica das pontes rodoviárias no território brasileiro (Santos, 2024)

Segundos dados do Ministério dos Transportes (2022), a malha ferroviária brasileira possui 30.660 km de extensão e conta com um número expressivo de OAEs. No entanto, não há informações consolidadas sobre a quantidade exata dessas estruturas, o que evidencia a complexidade da gestão desses ativos em âmbito nacional.

A Figura 2 evidencia a necessidade do monitoramento contínuo, aliado a intervenções adequadas para evitar a redução significativa do desempenho estrutural e prevenir situações críticas de redução de desempenho que levem a níveis de interrupção de serviço. Uma OAE não deve ser apenas segura e funcional em sua condição inicial, mas deve manter capacidade estrutural, durabilidade e desempenho satisfatórios frente aos inevitáveis processos de deterioração ao longo do tempo. A adoção de estratégias eficientes de inspeção, monitoramento e manutenção ao longo da vida útil é imprescindível. A necessidade de reavaliações aumenta à

medida que a estrutura envelhece, e esse processo é mais eficiente quanto maior for o conhecimento acumulado sobre seu comportamento ao longo do tempo.

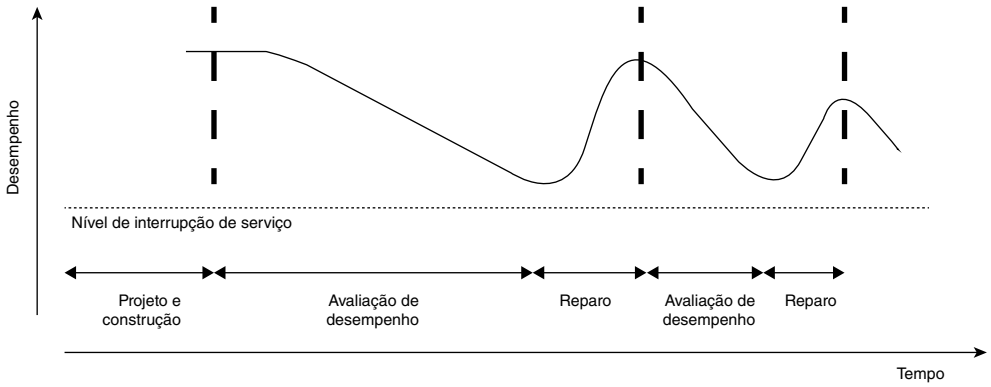

Figura 2: Atividades de conservação de estruturas existentes (Adaptado do fib, 2020)

Ao longo das últimas décadas, uma das estratégias adotadas pelos governos federal e estaduais para buscar a melhoria das condições da infraestrutura de transportes no país foi a criação de programas de concessão de rodovias e ferrovias à iniciativa privada. Esses contratos geralmente estabelecem padrões mínimos de desempenho e obrigatoriedades de monitoramento e manutenção, com o objetivo de assegurar eficiência na gestão dos ativos, promover investimentos e aumentar a segurança dos usuários. Apesar dos avanços obtidos, os resultados variam significativamente entre regiões, operadores e modelos de concessão, refletindo diferentes níveis de maturidade na gestão e diferentes contextos socioeconômicos.

É importante ressaltar que a concessão à iniciativa privada não representa, por si só, a solução completa para os desafios relacionados à gestão da malha nacional. Dada a extensão e a diversidade do território brasileiro, essa estratégia tende a avançar de forma gradual e não alcançará, no curto ou médio prazo, a totalidade das OAEs sob responsabilidade do poder público. Por isso, é essencial o fortalecimento da gestão pública, com a implementação de melhores práticas de monitoramento, avaliação de integridade, planejamento de manutenção e priorização de intervenções, além dos investimentos necessários para a sua execução.

Nesse contexto, o desenvolvimento e a atualização contínua de normas técnicas, manuais, guias e procedimentos padronizados desempenham papel fundamental para qualificar a mão de obra, apoiar a tomada de decisão e harmonizar critérios entre diferentes entes e órgãos gestores. A integração entre gestão pública e privada, associada à capacitação técnica e à adoção de instrumentos modernos de planejamento, é um caminho estratégico para garantir maior segurança, durabilidade e eficiência no gerenciamento das OAEs em todo o país.

Diante da complexidade do cenário brasileiro, a modernização da gestão das OAEs no Brasil exige uma abordagem integrada que combine diversas estratégias como:

- o avanço dos programas de concessão;
- o fortalecimento da gestão pública;
- a capacitação técnica e a valorização profissional;
- o desenvolvimento de bases de dados e indicadores;
- a adoção de tecnologias modernas; e

- a incorporação de metodologias de gestão de risco e resiliência.

A Tabela 1 apresenta uma síntese dessas estratégias complementares, destacando os objetivos e as ações recomendadas para aprimorar a confiabilidade das OAEs em todo o território nacional.

Tabela 1: Estratégias complementares para a melhoria da gestão de OAEs no Brasil

EIXO ESTRATÉGICO	OBJETIVOS PRINCIPAIS	AÇÕES RECOMENDADAS
Concessões Rodoviárias e Ferroviárias	Garantir padrões de desempenho, segurança e conservação.	- Estabelecimento de contratos com indicadores claros de desempenho. - Fiscalização efetiva das obrigações contratuais. - Compartilhamento de dados de monitoramento com órgãos públicos. - Incorporação de inovações e tecnologias modernas para otimizar o planejamento e reduzir custos de gestão.
Gestão Pública	Elevar a eficiência, a transparência e a padronização na gestão de OAEs sob responsabilidade estatal.	- Implantação de sistemas integrados de inventário, monitoramento e priorização de intervenções. - Definição de critérios técnicos padronizados. - Criação de planos plurianuais de manutenção preventiva e corretiva. - Incorporação de inovações e tecnologias modernas para otimizar o planejamento e reduzir custos de gestão.
Normas e Documentos técnicos	Harmonizar diretrizes, critérios e procedimentos entre órgãos gestores e operadores.	- Revisão e atualização periódica das normas da ABNT relacionadas a OAEs. - Desenvolvimento de manuais, guias e procedimentos técnicos. - Integração de requisitos normativos com as melhores práticas.
Capacitação e Qualificação Técnica	Desenvolver mão de obra especializada e apoiar a tomada de decisão técnica.	- Programas nacionais de capacitação e certificação para inspetores, projetistas e gestores. - Criação de cursos e *workshops* regionais. - Inclusão de temas de gestão de OAEs em currículos acadêmicos. - Incorporação de tecnologias modernas.

2. OBJETIVO

Com base no cenário atual da gestão das Obras de Arte Especiais (OAEs) no Brasil, diversas entidades técnicas como ABECE, ABMS, ABNT, ABPE, ALCONPAT, IABMAS-BRAZIL e IBRACON, uniram esforços em torno de uma agenda propositiva. O resultado inicial dessa mobilização foi o lançamento do Manifesto pela Segurança e Manutenção das Pontes Brasileiras (2025), amplamente divulgado no primeiro semestre de 2025 e apoiado institucionalmente, com o objetivo de contribuir para a conscientização da necessidade de gestão focada na segurança e conservação das pontes brasileiras.

Dando continuidade a essa mobilização, especialistas e instituições passaram a se reunir periodicamente com o objetivo de transformar o conhecimento técnico acumulado em ações de impacto nacional. Como resultado, foram constituídos 13 Grupos de Trabalho (GTs), cada um dedicado a temas estratégicos para o aprimoramento da gestão, das diretrizes técnicas e do desempenho das OAEs:

- Gestão de OAEs;
- Articulação político-governamental;
- Normatização;
- Avaliação e monitoramento das fundações de OAEs existentes;
- Colapsos em OAEs;
- Ferramentas digitais;
- Qualificação profissional;
- Segurança estrutural;
- Processo licitatório;
- Disseminação dos resultados;
- Durabilidade das estruturas de concreto;
- Túneis e espaços subterrâneos;
- Hidráulica e hidrologia.

Esses grupos abrangem focos e tecnologias essenciais para o contexto de pontes, viadutos e passarelas de pedestres, com objetivo de consolidar diretrizes técnicas que contribuam para o aumento da segurança, funcionalidade, durabilidade e confiabilidade das OAEs brasileiras.

Dentro desse contexto, o Grupo de Trabalho de Gestão de OAEs definiu como ação prioritária a elaboração desta Recomendação Técnica, com os seguintes objetivos:

- Propor diretrizes para a concepção, operação e gestão das estruturas ao longo de toda a vida útil, com base em melhores práticas nacionais e internacionais;
- Estabelecer critérios técnicos para o monitoramento e a avaliação do desempenho estrutural, de forma a apoiar decisões fundamentadas, rastreáveis e transparentes;
- Integrar ações de capacitação técnica, inovação tecnológica e articulação institucional, promovendo alinhamento entre órgãos gestores, operadores e comunidade técnica;
- Orientar gestores públicos e privados na definição de estratégias eficazes de manutenção e no uso racional dos recursos disponíveis, ampliando eficiência e a confiabilidade operacional.

Ao consolidar essas diretrizes e recomendações, esta publicação busca qualificar a gestão das OAEs no Brasil, promovendo processos modernos, padronizados e orientados ao desempenho, além de incentivar a harmonização de procedimentos entre diferentes entidades gestoras.

Os capítulos seguintes apresentam, de forma estruturada, um conjunto abrangente de boas práticas aplicáveis a todas as etapas do ciclo de vida das OAEs. São abordados os temas:

- concepção estrutural e projetos de manutenção;
- monitoramento do desempenho;
- avaliação da integridade estrutural;
- gestão de riscos e priorização de intervenções;
- definição do plano de manutenção;
- gestão de ações emergenciais, risco operacional e resiliência;
- elaboração de especificações e procedimentos técnicos;

- planejamento das intervenções e execução de obras;
- gestão de contratos, treinamento e capacitação técnica;
- ações junto a órgãos reguladores e áreas de interface;
- pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica.

Essa abordagem integrada oferece subsídios técnicos e estratégicos para apoiar a tomada de decisão ao longo de todos os processos de gestão das OAEs, desde o planejamento inicial até a operação, manutenção, modernização e resposta a eventos emergenciais. Além disso, incorpora reflexões sobre governança, interação institucional e desenvolvimento tecnológico, contribuindo para uma gestão mais eficiente, segura, resiliente e sustentável da infraestrutura nacional.

3. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

A vida útil de uma ponte, viaduto ou passarela de pedestres é definida não apenas pelas atividades de monitoramento e manutenção, mas principalmente pela etapa de concepção estrutural. É nessa fase inicial que se estabelecem as bases para a durabilidade, a segurança e o desempenho futuro da OAE. Portanto, a consideração do tempo como um parâmetro de projeto é fundamental.

Normas internacionais estabelecem diretrizes para a definição da vida útil mínima de projeto. A *International Federation for Structural Concrete (fib)* e a norma *ISO 2394 – Princípios Gerais de Confiabilidade para Estruturas* recomendam que essa vida útil mínima de OAEs seja de 100 anos. Isso implica que as estruturas devem ser projetadas de forma que, ao longo desse período, não sejam necessárias grandes intervenções de reabilitação estrutural, mas sim ações regulares de inspeção e manutenção voltadas à preservação da condição estrutural, funcional e de durabilidade.

Alcançar essa longevidade exige que a concepção estrutural seja apoiada por estudos preliminares abrangentes, avaliação criteriosa das condições locais e adoção de soluções que considerem estética, funcionalidade, segurança operacional e manutenção futura. A seguir, apresentam-se os principais grupos de estudos e premissas a serem contemplados.

3.1. Estudos preliminares

Para garantir longevidade, qualidade e funcionalidade adequadas das pontes, é imprescindível a realização de estudos preliminares no início do projeto estrutural. Os principais estudos incluem:

(i) Levantamentos topográficos e geométricos:

Os levantamentos topográficos e geométricos fornecem informações precisas sobre as características do relevo, incluindo as suas dimensões, elevações, declividades e outros detalhes relevantes. Adicionalmente, também são levantadas as informações de edificações, cursos d'água e quaisquer outras interferências existentes na região de interesse. São essenciais para os estudos de implantação de novas estruturas, mas também devem ser considerados nos estudos de reforço ou reabilitação de estruturas existentes. No caso de levantamento de estrutura existente, o estudo é chamado de "*as is*", sendo descrita a condição geométrica atual da estrutura, após a sua construção, podendo incluir eventuais defor-

mações, deslocamentos, pontos de degradação ou outras alterações ocorridas ao longo do tempo. Quando há a presença de corpos d'água, como rios, lagos ou canais, também deve ser considerada a realização de estudos batimétricos.

(ii) Investigações geotécnicas:

As investigações geotécnicas visam conhecer as características do solo e subsolo do local da obra. Fornecem informações importantes para o projeto e construção adequada das fundações. Tais investigações buscam caracterizar o solo, avaliar a capacidade de suporte, identificar riscos geotécnicos e prever recalques.

(iii) Estudos hidrológicos e hidráulicos:

Os estudos hidrológicos e hidráulicos analisam o comportamento da água no local da construção. Esses estudos ajudam a definir a seção hidráulica necessária para a determinação do vão das pontes, além dos tipos de fundação e dos dispositivos de drenagem necessários para evitar danos causados por enchentes ou erosão. Em regiões com influência da variação de marés, estudos adicionais devem ser considerados. Além das normas técnicas pertinentes, devem ser observadas as exigências técnicas estabelecidas por órgãos municipais, estaduais e federais responsáveis pelos cursos hídricos.

Estudos adicionais como o de ocorrência de fluxos de detritos, que analisa movimentos rápidos de massa, de terremotos, que analisam o comportamento das estruturas sob cargas sísmicas, de vento e de variações térmicas, não se limitando a estes, podem ser necessários para a concepção estrutural mais adequada da OAE. Cabe ao responsável técnico definir o escopo completo considerando a complexidade da obra e suas particularidades ambientais, urbanísticas e operacionais.

Os estudos iniciais também devem avaliar condições especiais locais ou limitantes para a implantação das obras, tais como áreas de preservação permanente (APPs), áreas de sítios arqueológicos, áreas de risco geológico, áreas de preservação da biodiversidade, áreas de interesse turístico, áreas com restrições urbanísticas e áreas de infraestruturas públicas, dutos e redes elétricas, por exemplo.

Atenção especial deve se dar a registros de tombamento histórico. Estruturas tombadas pelos órgãos de proteção do patrimônio histórico ou com importância histórica e cultural seguem regras e ritos específicos para o desenvolvimento de projetos, implantação e reabilitação. Diversas limitações técnicas, de materiais e métodos construtivos podem ser impostas por tais órgãos.

3.2. Segurança operacional integrada à concepção estrutural

Além dos aspectos puramente estruturais, a concepção deve assegurar que a OAE opere com segurança, reduzindo riscos de acidentes e interações indesejadas entre usuários, estrutura e ambiente. A segurança operacional deve ser tratada como premissa desde as primeiras fases de estudo.

Dispositivos de contenção e proteção

Os dispositivos de contenção são fundamentais para mitigar riscos operacionais e proteger a integridade estrutural. Devem ser projetados de forma integrada à superestrutura e à infraestrutura, evitando interferências negativas no comportamento resistente da OAE.

Entre os principais dispositivos destacam-se:

- Barreiras de segurança com níveis adequados de contenção;
- Guarda-corpos e defensas metálicas em passarelas e acostamentos;
- Contra-trilhos em OAEs ferroviárias ou em vias próximas a passagens superiores, essenciais para mitigação de descarrilamentos;
- Proteções contra impactos em pilares, tanto para tráfego rodoviário quanto navegação.

A adequação desses dispositivos deve considerar velocidades operacionais, tipos de veículos, geometria da via e cenários de impacto.

Sinalização, drenagem e prevenção de queda de objetos

Elementos complementares de segurança devem ser previstos desde a concepção incluindo:

- Sinalização: iluminação, sinalização vertical e horizontal, sistemas de advertência e dispositivos visuais que garantam operação segura da via;
- Drenagem: sistema dimensionado para evitar acúmulo de água, erosão, infiltrações e deterioração precoce da estrutura;
- Prevenção de quedas de objetos: telas, proteções inferiores, dispositivos para retenção de materiais soltos, especialmente em OAEs urbanas e ferroviárias, onde queda de objetos representa risco significativo.

Estudos de segurança viária integrados ao comportamento estrutural

A concepção deve integrar o comportamento estrutural aos estudos de tráfego e segurança viária e incluir:

- análise geométrica da via (curvatura, rampas, superelevação);
- identificação de conflitos operacionais e pontos críticos;
- simulações de impacto, frenagem, carregamento excêntrico e eventos extremos;
- compatibilização entre estrutura, dispositivos de contenção e dinâmica dos veículos.

Essa integração reduz riscos e melhora a funcionalidade operacional ao longo da vida útil da OAE.

3.3. Desenvolvimento do projeto

Considerados todos os estudos preliminares, segurança operacional, premissas e restrições de projeto, segue-se para a etapa de elaboração dos projetos que geralmente são executados em três etapas: conceitual, básico e executivo.

O projeto conceitual estabelece a ideia geral e os objetivos do projeto, incluindo a análise de viabilidade técnica e econômica. O projeto básico detalha as características técnicas e o escopo. E o projeto executivo fornece todos os detalhes necessários para a execução da obra.

Essas etapas devem seguir as normas brasileiras publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e diretrizes técnicas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e da Infra S.A. Na ausência de diretrizes nacionais específicas, podem ser adotadas normas internacionais reconhecidas, como as do *Eurocode*, *AASHTO* e *AREMA*, além de boas práticas do estado da arte.

Aspectos dinâmicos, como vibrações induzidas pelo tráfego de veículos, pedestres e vento, devem ser avaliados com rigor, sobretudo quanto aos efeitos de fadiga, conforto humano e amplificações dinâmicas. Cabe ressaltar que, em projetos de OAEs, vibrações induzidas pelo tráfego de veículos, pedestres e, em determinadas situações, o vento, devem ser especialmente avaliadas quanto aos aspectos relacionados aos fenômenos de fadiga, conforto humano e amplificações dinâmicas.

Uma tendência crescente é a adoção do BIM (*Building Information Modeling*) em projetos de infraestrutura. O BIM é um processo que oferece suporte à criação de dados inteligentes com o objetivo de aprimorar a eficiência, colaboração e qualidade da informação em todas as fases de vida de uma estrutura, facilitando a análise, planejamento e gestão do projeto. Em 2021 o governo brasileiro criou uma legislação aplicada ao BIM no Brasil, estabelecendo marcos para a sua utilização em projetos públicos, incentivando a modernização e eficiência no setor da construção.

Uma prática obrigatória pelas normas técnicas atuais é a Avaliação da Conformidade do Projeto (ACP), realizada por um segundo projetista de forma independente. Essa, tem como objetivo verificar se um projeto, seja de engenharia, arquitetura ou de outra área, atende aos requisitos técnicos, legais e de segurança estabelecidos pelas normas técnicas e regulações vigentes. Essa análise verifica o atendimento às normas técnicas, aos requisitos legais e às condições de segurança e funcionalidade, aumentando a confiabilidade e a rastreabilidade técnica do empreendimento.

A concepção estrutural deve integrar durabilidade, sustentabilidade, manutenção futura e segurança operacional. Entre as boas práticas destacam-se:

- uso de materiais de elevada durabilidade;
- adoção de soluções que facilitem inspeções e intervenções futuras;
- prevenção de patologias por meio de detalhamento adequado;
- integração entre aspectos estruturais, funcionais e operacionais.

Assim, a concepção deixa de ser apenas o início de um projeto e se consolida como a etapa estratégica para garantir desempenho, segurança e longevidade das OAEs.

4. PROJETOS DE MANUTENÇÃO

Os projetos de manutenção em OAEs constituem etapa fundamental para assegurar que as intervenções estruturais, funcionais e de durabilidade sejam conduzidas de forma planejada, eficiente e segura. De maneira distinta dos casos de novas obras, os projetos de manutenção devem considerar o histórico da estrutura, incluindo as manifestações patológicas já identificadas e os resultados de inspeções e avaliações de integridade previamente realizadas.

De modo geral, esses projetos podem ser estruturados em três fases principais — conceitual, básico e executivo — cada uma com objetivos específicos, níveis de detalhamento próprios e produtos complementares. O adequado desenvolvimento dessas fases, associado à realização de estudos técnicos especializados, garante maior confiabilidade às soluções de intervenção e contribui para uma gestão eficiente de custos e prazos.

Entretanto, alguns cenários de manutenção não exigem a aplicação integral dessas três fases. Em situações emergenciais, em que se busca restabelecer rapidamente as condições mínimas de segurança e funcionalidade da estrutura, os projetos podem ser elaborados em prazos reduzidos, com simplificação de fases. Da mesma forma, em casos de intervenções de baixa complexidade ou natureza predominantemente corretiva, determinadas fases podem ser suprimidas, desde que mantida a rastreabilidade técnica e atendidos os requisitos normativos aplicáveis. Exemplos típicos de projetos de manutenção incluem reforços estruturais, alargamento de tabuleiros, substituição de elementos danificados, troca de componentes como aparelhos de apoio ou juntas de dilatação, além de ações de manutenção preventiva (como a proteção anticorrosiva) ou corretiva (como a recuperação de concreto deteriorado).

4.1. Projeto Conceitual

O projeto conceitual tem como finalidade estabelecer diretrizes iniciais de intervenção, identificar alternativas de manutenção ou reabilitação e avaliar sua viabilidade técnica e econômica, tendo como objetivos principais:

- Levantar dados existentes (projetos originais, memoriais de cálculo, relatórios de inspeção e manutenção anterior);
- Avaliar necessidade de vistorias e inspeções específicas (inspeções especiais, extraordinárias, ensaios dinâmicos ou prova de carga);
- Realizar levantamento topográfico e batimétrico;
- Realizar estudos geotécnicos (sondagens, capacidade de suporte, estabilidade de fundações);
- Estudos hidrológicos e hidráulicos (vazões, cheias, marés, riscos de erosão);
- Definir alternativas de intervenção (preventiva, corretiva, reforço estrutural, substituição parcial ou total);
- Cadastrar as interferências existentes no entorno da obra (tubulações, estruturas antigas, instalações elétricas, etc);
- Avaliar impactos preliminares sobre meio ambiente, patrimônio histórico, faixa de domínio e operação;
- Avaliar os gabaritos rodoviários e ferroviárias junto ao poder concedente, concessionárias e normas vigentes;
- Avaliar a logística necessária e viabilidade para construção in loco ou com elementos pré-fabricados, sejam de aço ou concreto, prevendo a viabilidade de equipamentos de montagem no local;
- Avaliar riscos sociais no entorno da obra (ocupações irregulares ou regulares, enchentes, colisão de veículos ou embarcações, riscos de incêndio, etc);
- Estimar custos e prazos iniciais.

4.2. Projeto Básico

O projeto básico tem como objetivo consolidar a solução escolhida, fornecer detalhamento suficiente para análise de viabilidade, subsidiar a contratação da obra e tem como produtos principais, mas sem se limitar:

- Projeto topográfico e detalhes para movimentação de solo;
- Projeto de drenagem contendo detalhes para as intervenções necessárias para a drenagem da via, taludes e soluções para o curso hídrico;
- Projeto geotécnico contendo detalhes sobre os elementos de infraestrutura, encontros, taludes e transição entre via e OAE;
- Dimensionamento e memória de cálculo estrutural;
- Detalhamento de projeto com plantas, elevações e cortes esquemáticos;
- Detalhar o plano de içamento e montagem, bem como a delimitação para acesso de equipamentos a obra;
- Detalhar as áreas diretamente afetadas, incluindo áreas pertinentes a canteiro de obras, movimentação de máquinas e equipamentos, montagem de estruturas provisórias e demais atividades pertinentes a obra. Importante delimitar em projeto a faixa de domínio, áreas de patrimônio histórico ou sítio arqueológico e áreas de preservação ambiental;
- Termo de referência e base orçamentária detalhada para contratação da obra, quando pertinente.

4.3. Projeto Executivo

O projeto executivo tem como finalidade fornecer todos os elementos técnicos necessários para a execução da obra de manutenção e deve detalhar todos os aspectos da obra necessárias para a sua execução, tendo como produtos principais:

- Detalhamento do projeto estrutural;
- Detalhamento do projeto de pavimentação ou via permanente;
- Detalhamento do projeto de drenagem da OAE e do curso hídrico quando aplicável;
- Detalhamento geotécnico com especificações de critérios de execução e controle;
- Detalhamento de juntas de dilatação;
- Detalhamento de elementos de segurança, sinalização, iluminação e demais itens pertinentes;
- Detalhamento de itens relativos ao meio ambiente (passagem de fauna, direcionamento de resíduos, etc) e patrimônio histórico (preservação de arquitetura, preservação de elementos estruturais, etc);
- Especificações técnicas detalhadas de materiais e procedimentos de execução;
- Plano de execução, fases construtivas e estratégias de segurança;
- Compatibilização entre disciplinas (estrutural, geotécnica, drenagem, sinalização, elétrica);
- Plano de controle tecnológico e critérios de aceitação;
- Orçamento executivo e cronograma detalhado.

4.4. Avaliação da Conformidade do Projeto e Inspeção Acreditada

A Avaliação da Conformidade do Projeto (ACP) e a Inspeção Acreditada devem ser adotadas em projetos de manutenção de maior complexidade, tais como substituições, ampliações (alargamentos e alongamentos), reforços estruturais, trocas de aparelhos de apoio de elevada complexidade, entre outros cenários a serem definidos pelo responsável pela gestão do ativo, com base em critérios técnicos e no nível de criticidade da intervenção.

Tanto a ACP quanto a Inspeção Acreditada devem ser realizadas por profissionais ou equipes independentes, distintos dos responsáveis pela elaboração do projeto executivo, preferencialmente vinculados a empresas especializadas e com experiência comprovada nessas atividades.

A Avaliação da Conformidade do Projeto (ACP) consiste em um processo técnico de verificação independente, cujo objetivo é assegurar a conformidade do projeto com as normas técnicas aplicáveis, a qualidade e a viabilidade das soluções propostas, bem como o atendimento às legislações vigentes e aos requisitos estabelecidos pelo contratante. No Brasil, a ACP é amplamente adotada, encontra respaldo em normas da ABNT e é frequentemente exigida em contratos públicos e em concessões de infraestrutura.

A Inspeção Acreditada é um processo formal de inspeção conduzido por um Organismo de Inspeção acreditado por organismo oficial competente (no contexto nacional, o INMETRO) em conformidade com normas nacionais e internacionais, como a ABNT NBR ISO/IEC 17020. Sua aplicação é normalmente prevista em contratos de concessão ou em empreendimentos de elevada criticidade técnica, operacional ou institucional.

Ressalta-se que a Inspeção Acreditada atualmente não substitui a Avaliação da Conformidade do Projeto, mas configura uma abordagem diferente de verificação, atestando que o projeto observou os requisitos e os procedimentos das normas técnicas pertinentes, assim como as regulamentações dos órgãos envolvidos. A ACP constitui um nível técnico essencial de controle de qualidade, enquanto a Inspeção Acreditada representa um patamar superior de governança, confiabilidade e *accountability*, conferindo maior rastreabilidade, robustez institucional e segurança jurídica às decisões técnicas associadas aos projetos.

5. MONITORAMENTO DO DESEMPENHO

O monitoramento do desempenho de OAEs pode ser definido como um conjunto de procedimentos técnicos especializados destinados à coleta, processamento e análise de dados que permitam avaliar a integridade estrutural na sua condição atual e prever o comportamento futuro da estrutura. O objetivo é manter ou restabelecer os parâmetros de segurança estrutural, funcionalidade e durabilidade, estabelecendo critérios essenciais para garantir a integridade e o bom desempenho da estrutura ao longo do tempo e, assim, atender de forma contínua às demandas da sociedade e da segurança viária.

5.1. Parâmetros de desempenho

O monitoramento busca avaliar três parâmetros técnicos fundamentais:

- Estrutural: O parâmetro de segurança estrutural refere-se à capacidade da OAE em suportar as cargas atuantes, tais como o peso próprio, o tráfego e o vento, sem sofrer colapso

ou deformações excessivas que comprometam a sua estabilidade ou segurança. Além da inspeção, pode ser necessárias a análise de tensões e deformações na estrutura.

- Funcional: O parâmetro funcional é relacionado com a capacidade da OAE de atender aos requisitos de uso previstos, como garantir a segurança e o conforto aos usuários, proporcionar boa acessibilidade, visibilidade e sinalização adequadas. Considera aspectos como a geometria da estrutura, a qualidade da superfície de rolamento, a eficiência dos guarda-corpos, a sinalização e a iluminação, por exemplo.
- Durabilidade: Esse parâmetro diz respeito à capacidade da OAE de resistir aos agentes agressivos do meio ambiente (umidade, temperatura, poluição, por exemplo) ao longo do tempo, mantendo as suas propriedades e desempenho em níveis adequados.

A análise integrada desses três parâmetros é essencial para assegurar que as OAEs sejam seguras, funcionais e duráveis, permitindo o planejamento eficaz de intervenções preventivas e corretivas.

5.2. Inspeções segundo a ABNT NBR 9452:2023

A ABNT NBR 9452:2023 – Inspeção de pontes, viadutos e passarelas – Procedimento – estabelece quatro tipos de inspeções em pontes e viadutos, sejam rodoviários ou ferroviários, e passarelas de pedestres: cadastral, rotineira, especial e extraordinária. A norma define ainda parâmetros de avaliação das estruturas, incluindo integridade estrutural, funcionalidade e durabilidade, que recebem notas de 0 a 5 para classificar sua condição e orientar ações de manutenção, reparo ou substituição.

A inspeção cadastral tem como objetivo criar ou atualizar o cadastro da estrutura, registrando informações básicas como localização, materiais, dimensões e características construtivas. É a primeira inspeção a ser realizada, efetuada após a conclusão de sua implantação ou assim que for integrada a um sistema viário, servindo como base para as demais inspeções. Também deve ser realizada quando houver alterações na configuração da OAE, como a ocorrência de modificações em suas dimensões, reforço ou mudança no sistema estrutural.

A inspeção rotineira é de caráter periódico e visual, destinada a verificar o estado geral da estrutura, identificar possíveis danos ou anomalias que possam comprometer sua segurança ou desempenho e acompanhar a sua evolução quando já observadas em inspeções anteriores.

A inspeção especial é mais detalhada, também periódica, contemplando o mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias existentes, considerando todos os elementos da estrutura. Quando necessário, podem ser utilizados equipamentos especiais para viabilizar o acesso às partes da estrutura e executados ensaios tecnológicos voltados à caracterização dos materiais constituintes, bem como à identificação e confirmação de eventuais danos.

A inspeção extraordinária é realizada em situações não programadas, quando há necessidade de avaliação detalhada de partes específicas da estrutura ou quando esta sofre ações excepcionais, como impactos, inundações, incêndio etc. Como na inspeção especial, pode envolver ensaios não destrutivos e aprofundamento na avaliação de áreas específicas.

5.3. Referências internacionais e avaliações complementares

Além das normas nacionais, o conhecimento de referências internacionais é de extrema relevância no contexto da padronização e melhoria do monitoramento de OAEs existentes.

De acordo com o *fib*, as frequências de inspeções em OAEs devem ser determinadas por fatores como as condições ambientais do local em que se encontra, o tipo de estrutura e a sua condição.

A TU 1406, intitulada *Quality Specifications for Roadway Bridges, Standardization at a European Level* (*BridgeSpec*), foi uma iniciativa europeia que reuniu pesquisadores, gestores e profissionais para desenvolver padrões e indicadores de desempenho para pontes rodoviárias na Europa. O objetivo central foi criar uma base comum para avaliação, manutenção e tomada de decisão, com foco em sustentabilidade, segurança e eficiência operacional.

A adoção de diretrizes internacionais, como as propostas pelo *fib* e TU 1406, pode também contribuir para transformar a forma como o país monitora, avalia e preserva seu patrimônio de OAEs.

Em muitos casos, as inspeções visuais e os ensaios tecnológicos, ainda que essenciais, não são suficientes para caracterizar integralmente o nível de desempenho da estrutura. Nesses cenários, torna-se necessária a realização de avaliações complementares, com o objetivo de inferir o comportamento estrutural real e reduzir incertezas quanto à segurança. Tais avaliações podem envolver:

- análises teóricas, incluindo a verificação de tensões, deformações e deslocamentos;
- retroanálises, nas quais se aplicam os critérios de dimensionamento vigentes à época da concepção da obra, confrontando-os com os requisitos normativos atuais;
- e, quando a complexidade estrutural ou as incertezas justificarem, avaliações teórico-experimentais, com instrumentação de campo para monitorar a estrutura em condição de serviço.

Essas avaliações, que serão detalhadas no *Capítulo 6 – Avaliação da Integridade Estrutural*, complementam as inspeções previstas na ABNT NBR 9452:2023 e em referências internacionais, permitindo avaliações da integridade estrutural mais robustas e confiáveis.

Além das práticas já consolidadas, novas tecnologias digitais ampliam significativamente o potencial do monitoramento de desempenho. O uso do *Building Information Modeling* (BIM) aplicado à infraestrutura viária e a implementação de gêmeos digitais possibilitam a criação de modelos virtuais dinâmicos que integram informações geométricas, dados de inspeções, histórico de manutenção e medições em tempo real. Essa integração permite:

- visualização contínua do comportamento estrutural;
- simulação de cenários de carregamento e degradação; e
- apoio à tomada de decisão para intervenções preventivas e corretivas.

A adoção dessas ferramentas representa uma oportunidade estratégica para elevar o nível de precisão, rastreabilidade e eficiência dos programas de gestão de OAEs no Brasil. As diretrizes e aplicações práticas de BIM e gêmeos digitais serão aprofundadas no Capítulo 16 – Pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica na Gestão de OAEs, onde são apresentadas recomendações para sua incorporação em sistemas de monitoramento e gestão de ativos de infraestrutura.

6. AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL

A integridade estrutural de OAEs está intrinsecamente ligada à garantia da segurança estrutural ao longo de toda a vida útil da obra. Avaliar a integridade significa avaliar que a estrutura suporte, com margens adequadas de segurança, todas as ações previstas, bem como aquelas que possam surgir em situações excepcionais.

A avaliação deve também considerar aspectos de conforto humano, como vibrações excessivas e deformações que possam causar desconforto aos usuários, e a vida residual à fadiga, particularmente relevante em pontes e viadutos ferroviários sujeitas a altas cargas por eixo. Nesses casos, a repetição de carregamentos intensos pode provocar fissuração progressiva e perda de capacidade resistente de forma brusca e sem aviso prévio, exigindo análises criteriosas de fadiga.

6.1. Análises teóricas e verificações normativas

A avaliação da integridade estrutural de OAEs inicia-se com análises teóricas baseadas em modelos numéricos ou métodos analíticos simplificados. O objetivo é determinar, com a maior fidelidade possível, os esforços, deformações e deslocamentos em todos os elementos estruturais quando submetidos às combinações de ações previstas em normas vigentes (cargas permanentes, tráfego rodoviário ou ferroviário, vento, temperatura, retração, entre outras).

A partir desses resultados, procede-se à verificação dos Estados Limites Últimos (ELU) e dos Estados Limites de Serviço (ELS):

- Estados Limites Últimos (ELU) – Avaliam a capacidade resistente da estrutura, garantindo que não ocorra ruptura ou instabilidade global e local. Incluem:
  - Resistência a esforços normais, cortantes e de flexão, considerando seções críticas e combinações de ações mais severas;
  - Estabilidade global, como risco de flambagem, instabilidade lateral de vigas, deslocamentos excessivos de apoios ou escorregamento de cabos;
  - Verificação à fadiga, de importância central em pontes ferroviárias de alta carga por eixo e em viadutos rodoviários com tráfego intenso e repetitivo. Nesta etapa avaliam-se tensões de tração e compressão cíclicas que, ao longo de milhões de ciclos, podem originar fissuração progressiva e colapso;
  - Ações excepcionais, como impacto de veículos, explosões ou eventos sísmicos, quando aplicável.
- Estados Limites de Serviço (ELS) – Verificam se a estrutura mantém condições adequadas de uso e conforto, mesmo em regime normal de operação. Incluem:
  - Deformações e flechas que não causem fissuração excessiva ou desconforto aos usuários, e recalques de aparelhos de apoio;
  - Vibrações em passarelas ou tabuleiros, cuja frequência natural e fator de amortecimento devem garantir níveis aceitáveis de conforto humano;
  - Abertura de fissuras e controle de deslocamentos diferenciais que possam comprometer a durabilidade.

Para garantir a consistência das verificações, recomenda-se:

1. Calibração de modelos numéricos com base em dados obtidos em campo (instrumentação, levantamento geométrico, caracterização de materiais, por exemplo);
2. Consideração de incertezas nos parâmetros de material, nas condições de apoio e nos espectros de tráfego, com análises de sensibilidade e, quando possível, abordagens probabilísticas;
3. Comparação com critérios históricos, por meio de retroanálises, confrontando os coeficientes e combinações de carga usados no projeto original com as exigências normativas atuais, permitindo identificar margens de segurança ou deficiências herdadas.

Essa abordagem integrada assegura que a OAE atenda tanto às exigências contemporâneas de segurança estrutural, incluindo fadiga, quanto às de desempenho em serviço, criando base sólida para decisões de reforço, reabilitação ou limitação de uso.

6.2. Retroanálise e confrontos normativos

A retroanálise consiste em reavaliar a OAE à luz dos critérios de dimensionamento vigentes à época de sua concepção, confrontando-os com as exigências atuais de projeto e manutenção. Esse processo é essencial para identificar eventuais lacunas de segurança e para compreender como a estrutura foi concebida, quais hipóteses de carregamento foram adotadas e qual margem de robustez está efetivamente disponível.

Etapas recomendadas:

1. Levantamento e organização documental:
   - Projetos originais, memoriais de cálculo, especificações de materiais, registros de construção e intervenções posteriores;
   - Informações de inspeções anteriores e histórico de manutenção, reforços ou alterações de tráfego.
2. Reconstituição do modelo estrutural da época:
   - Reconstrução do modelo de cálculo utilizado (grelhas, pórticos, elementos de barra isolada), com propriedades e parâmetros de materiais originais, incluindo coeficientes de ponderação e combinações de ações antigas;
   - Identificação das hipóteses de ações então vigentes, como pesos de veículos, tráfego ferroviário, vento e temperatura.
3. Aplicação de critérios atuais:
   - Reanálise do mesmo modelo com as normas contemporâneas, incluindo novas combinações de ações, valores atualizados de impacto dinâmico e requisitos de durabilidade;
   - Comparação entre coeficientes de segurança, esforços, flechas e verificações de fadiga segundo métodos modernos, avaliando a vida útil residual e possíveis pontos críticos.
4. Avaliação de desempenho em serviço:
   - Confronto dos resultados com os dados reais de inspeções e monitoramento, ajustando o modelo a eventuais patologias observadas (fissuras, recalques, corrosão, perdas de pré-esforço etc.);

- Revisão da capacidade de carga atual frente a demandas contemporâneas, como aumento de tráfego rodoviário pesado, veículos especiais ou maiores cargas por eixo ferroviário.

5. Definição de ações corretivas ou de reforço:
   - Indicação de intervenções prioritárias, seja por reforço estrutural, limitação de uso, alteração de rota de tráfego ou intensificação de atividades de monitoramento.
   - Proposição de novas medidas de durabilidade, como sistemas de proteção anticorrosiva e prevenção ao avanço da carbonatação do concreto.

Benefícios e aplicações:

- Gestão de risco: permite hierarquizar estruturas em função de sua reserva de segurança e de sua importância estratégica.
- Planejamento de investimentos: evita reforços desnecessários em obras que, mesmo antigas, conservam adequada capacidade.
- Integração com ferramentas digitais: os resultados podem alimentar modelos BIM e gêmeos digitais (conforme abordado no Capítulo 16) para acompanhamento contínuo do desempenho.

Assim, a retroanálise não é apenas uma verificação histórica, mas um instrumento de engenharia preditiva, capaz de revelar a real margem de segurança, antecipar falhas e subsidiar decisões de reforço, reabilitação ou eventual restrição de tráfego, garantindo a integridade estrutural, funcionalidade e durabilidade da OAE no contexto atual.

6.3. Avaliações teórico-experimentais

As avaliações teórico-experimentais constituem uma etapa avançada da verificação da integridade estrutural, combinando modelos numéricos com medições diretas em campo. Embora sua aplicação no Brasil ainda seja limitada, em razão do alto custo, da complexidade logística e da necessidade de equipe especializada, a tendência é de expansão à medida que cresce a demanda por avaliações mais precisas da vida útil residual e da segurança de OAEs, bem como a sua associação com novas tecnologias.

Essas avaliações são particularmente recomendadas em:

- Estruturas com alto nível de criticidade, como pontes e viadutos estratégicos para a malha rodoviária ou ferroviária;
- Projetos de manutenção complexa, nos quais a escolha de intervenções depende de dados precisos de comportamento real em serviço;
- Situações em que a vida útil residual precisa ser estimada com maior exatidão, sobretudo em obras ferroviárias de alta carga por eixo, sujeitas a fadiga severa.

Procedimentos e instrumentação:

As avaliações teórico-experimentais vão além das inspeções e análises puramente teóricas. Elas utilizam sensores de alta precisão como extensômetros, acelerômetros, inclinômetros, transdutores de deslocamento, entre outros, para registrar, na condição de serviço, tensões, deformações, deslocamentos e respostas dinâmicas. Esses dados permitem:

- Calibrar e validar modelos numéricos, ajustando parâmetros de rigidez, amortecimento e condições de contorno;
- Avaliar parâmetros estáticos e dinâmicos, capacidade estrutural e vida residual à fadiga, de forma integrada;
- Reduzir incertezas relacionadas a propriedades de materiais, condições de apoio, histórico de danos e variações de carregamento.

A Figura 3 sintetiza o processo: parte-se da avaliação da documentação e do conhecimento existente, segue-se o levantamento geométrico, a caracterização dos materiais, as inspeções e ensaios e a instrumentação de monitoramento. Os dados coletados alimentam o modelo numérico, cuja calibração permite estimar com maior confiabilidade os parâmetros estáticos e dinâmicos, a capacidade estrutural e a vida residual à fadiga.

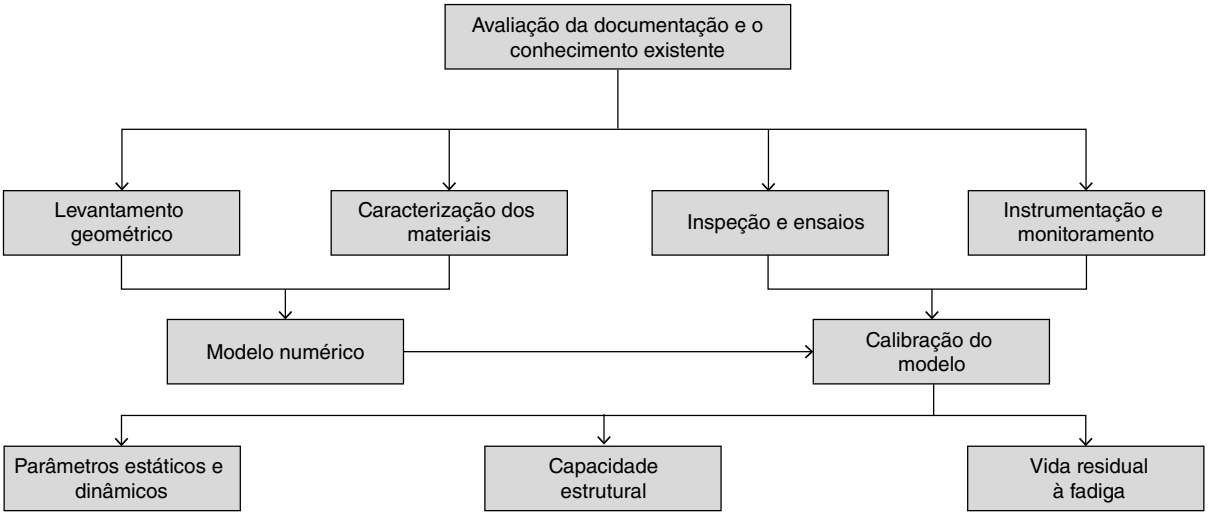

Figura 3: Procedimento para avaliação teórico-experimental (Adaptado de JUNQUEIRA et. al., 2020)

Integração com novas tecnologias:

O avanço da instrumentação estrutural e da transformação digital potencializa esse tipo de avaliação. Sistemas de monitoramento remoto em tempo real, aliados a modelagem BIM e gêmeos digitais, possibilitam atualizar continuamente o modelo virtual da OAE, refletindo o comportamento real da estrutura. Essa integração, abordada em detalhe no Capítulo 16 – Pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica na Gestão de OAEs, representa um passo importante para otimizar recursos, antecipar intervenções e prolongar a vida útil das OAEs, reforçando a confiabilidade do processo de gestão.

7. GESTÃO DE RISCOS E PRIORIZAÇÃO DAS INTERVENÇÕES

A gestão de OAEs deve incorporar, de maneira estruturada, os princípios de avaliação de risco e priorização técnica como pilares centrais para a tomada de decisão. Em um cenário caracterizado pelo envelhecimento das infraestruturas, restrições orçamentárias e aumento da frequência de eventos extremos, a adoção de práticas sistemáticas de gestão de riscos torna-se

indispensável para garantir a segurança, a durabilidade e a disponibilidade operacional das estruturas.

A priorização baseada em risco representa uma evolução em relação aos modelos tradicionais que consideravam, principalmente, o estado físico observado durante as inspeções. A abordagem moderna integra fatores como:

- Probabilidade de ocorrência de falha;
- Consequências estruturais, operacionais, econômicas, ambientais e sociais;
- Redundância da estrutura e existência de rotas alternativas;
- Exposição e vulnerabilidade dos usuários;
- Importância estratégica da via no sistema de transportes.

Esse modelo amplia a racionalidade da tomada de decisão, garantindo que recursos limitados sejam direcionados às obras que apresentam maior impacto potencial. Dessa forma, gestores públicos e privados ganham eficiência, transparência e maior capacidade de defesa técnica diante de órgãos reguladores, auditorias e da sociedade.

Adicionalmente, recomenda-se que a gestão de OAEs considere os princípios estabelecidos pela ISO 55000 – Gestão de Ativos, que propõe uma abordagem integrada e orientada ao valor ao longo de todo o ciclo de vida dos ativos. Esses princípios reforçam a necessidade de alinhamento entre objetivos estratégicos, gestão de riscos, desempenho técnico, tomada de decisão baseada em evidências e uso eficiente dos recursos. A incorporação desses conceitos contribui para uma visão sistêmica da gestão de OAEs, promovendo maior consistência entre planejamento, operação, manutenção e investimentos, tanto em ambientes de gestão pública quanto privada.

7.1. Metodologias de avaliação de risco aplicadas a OAEs

A avaliação de risco consiste em identificar, analisar e hierarquizar possíveis falhas ou condições que possam comprometer a integridade estrutural, a segurança dos usuários e o desempenho operacional das OAEs. O processo pode ser estruturado em diferentes níveis de complexidade, conforme a maturidade do sistema de gestão, a criticidade da estrutura e a disponibilidade de dados.

- Avaliação qualitativa: Baseia-se em julgamentos técnicos e matrizes simples de probabilidade e consequência. É amplamente utilizada por órgãos públicos e novas concessionárias rodoviárias e ferroviárias diante da limitação de dados históricos, permitindo priorizar intervenções de forma rápida.
- Avaliação semi-quantitativa: Emprega escalas numéricas ou ponderações pré-estabelecidas para classificar probabilidades e consequências. Permite maior consistência e comparabilidade entre estruturas, sendo adequada para gestores públicos e privados com bases de dados mais organizadas.
- Avaliação quantitativa: Utiliza modelos probabilísticos, simulação numérica, análise estrutural avançada e dados reais de desempenho. É aplicável em situações com elevada criticidade, como pontes estratégicas, corredores logísticos ou estruturas com monitoramento contínuo (SHM).

A escolha da metodologia depende do nível de risco aceitável, da complexidade da rede de OAEs e da disponibilidade de informações técnicas.

7.2. Aplicação de matrizes de priorização

A priorização de OAEs é um dos pilares da gestão baseada em risco e permite direcionar recursos para as estruturas de maior relevância técnica e operacional. Em sistemas viários extensos, nas quais os recursos disponíveis são frequentemente limitados em relação às necessidades de intervenção, a adoção de ferramentas estruturadas de apoio à gestão, como as matrizes de priorização, são fundamentais para garantir rastreabilidade, transparência e alinhamento institucional nos processos de tomada de decisão.

As matrizes são compostas, essencialmente, por duas parcelas principais:

Parcela de criticidade:

Representa a consequência da eventual falha da estrutura. É uma dimensão estratégica que pode incluir:

- Volume e tipo de tráfego (rodoviário, ferroviário, cargas pesadas, passageiros);
- Existência de via singela, via dupla ou rotas alternativas;
- Transporte de produtos perigosos e impactos ambientais associados;
- Importância socioeconômica da ligação (corredores logísticos, acessos industriais, rotas de exportação);
- Papel da OAE em emergências, como evacuações ou operações de resposta a desastres, ou acesso a sistemas de saúde pública.

Parcela de probabilidade de falha:

Corresponde à chance de ocorrência de falha ou degradação significativa. É diretamente influenciada por:

- Danos e manifestações patológicas identificados em inspeções rotineiras e especiais;
- Reduções na capacidade resistente verificadas em avaliações estruturais;
- Condições de durabilidade dos materiais (corrosão, degradação química, fissuração, impactos ambientais);
- Comportamentos anômalos observados em monitoramentos ou inspeções extraordinárias.

A Figura 4 representa, graficamente, duas formas de correlacionar as parcelas de criticidade e probabilidade de falha. Em (a) a intensidade de cada uma das parcelas é classificada em baixa, média e alta intensidade. Já em (b), a intensidade da relação entre as parcelas é classificada por níveis de prioridade, P0 a P5, sendo P0 mais prioritário. Em ambos os casos, a correlação entre as duas parcelas pode gerar um indicador numérico, possibilitando o seu ranqueamento das estruturas de acordo com o nível de prioridade para a intervenção.

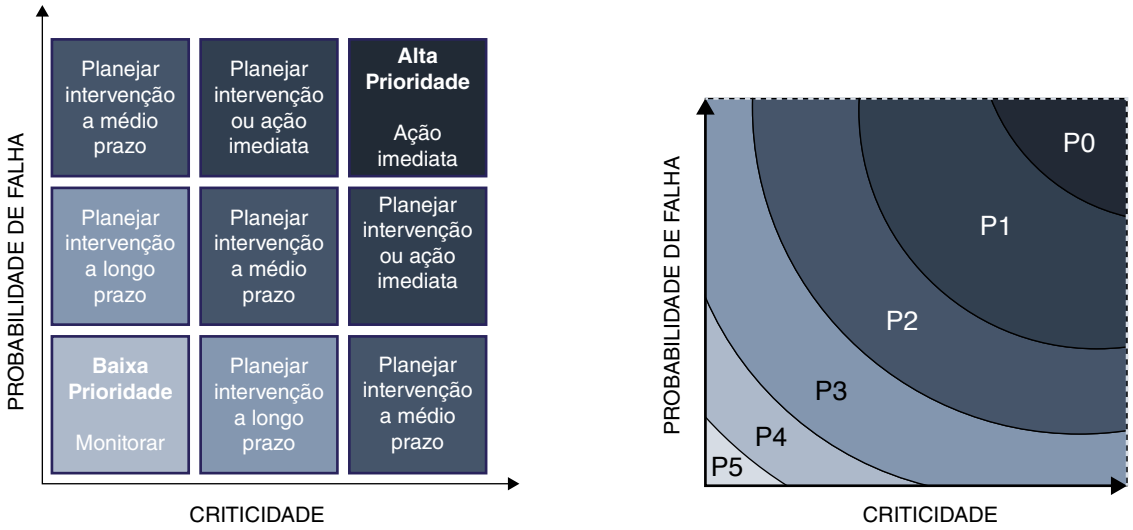

Figura 4: Exemplos de matrizes de priorização baseadas em probabilidade de falha e criticidade

Entretando, deve-se ter atenção na aplicação dessas matrizes, especialmente na calibração dos critérios de probabilidade de falha e criticidade. Estruturas que apresentem probabilidade elevada de falha estrutural não devem, em condições normais, ser classificadas como intervenções de médio ou longo prazo, uma vez que o eventual colapso pode resultar em consequências graves, incluindo perdas de vidas humanas e interrupções relevantes na operação do sistema viário. Dessa forma, é fundamental que os parâmetros utilizados na construção da matriz estejam adequadamente calibrados e representem de forma realista as condições estruturais, funcionais e de durabilidade das OAEs.

Ressalta-se ainda que as matrizes de priorização constituem ferramentas de apoio à tomada de decisão, devendo sempre ser utilizadas em conjunto com análise técnica especializada. Situações que indiquem níveis elevados de risco estrutural devem ser tratadas com prioridade imediata, independentemente da posição relativa no ranqueamento gerado pela matriz, de modo a evitar a materialização de eventos críticos e garantir a segurança dos usuários.

Alguns sistemas de gestão adotam ainda limites ou gatilhos técnicos de intervenção imediata, associados a condições estruturais críticas, níveis elevados de deterioração ou probabilidades significativas de falha. Nesses casos, a necessidade de intervenção pode ser estabelecida independentemente da classificação obtida na matriz de priorização, reforçando o papel dessas ferramentas como instrumentos de apoio à decisão, e não como substitutos do julgamento técnico dos gestores responsáveis.

A depender da maturidade da organização, essa probabilidade de falha pode ser estimada pelos métodos qualitativos, semiquantitativos ou quantitativos.

O histórico da OAE desempenha papel decisivo na análise de risco. Registros de intervenções, ocorrências anteriores, inspeções especiais, obras de reforço, eventos extremos suportados, entre outros fatores, aumentam a precisão das estimativas de probabilidade e criticidade. Esse conhecimento acumulado:

- reduz incertezas;
- reforça a base técnica das decisões;
- confere maior segurança jurídica e regulatória;
- e aumenta a confiabilidade do sistema de gestão.

A aplicação sistemática da priorização baseada em risco, com critérios objetivos, pesos documentados e métodos transparentes, garante que as decisões sejam rastreáveis, defendíveis e alinhadas aos princípios de segurança, eficiência e sustentabilidade.

Assim, a gestão de riscos integrada à priorização torna-se uma ferramenta central para a adequada alocação de recursos e para a maximização da confiabilidade das OAEs ao longo de todo o seu ciclo de vida.

8. DEFINIÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO

A definição do Plano de Manutenção constitui uma das etapas mais relevantes do processo de gestão de OAEs. Trata-se da materialização da programação das ações necessárias para garantir o desempenho, a durabilidade e a segurança estrutural das pontes, viadutos e passarelas ao longo de sua vida útil.

Com base nas informações obtidas a partir do monitoramento e das avaliações de integridade estrutural, o plano de manutenção tem como objetivo identificar, programar e priorizar intervenções de forma racional e preventiva, reduzindo custos totais de manutenção e prolongando a vida útil dos ativos. A adoção de estratégias adequadas de manutenção não apenas minimiza o risco de falhas, como também otimiza o uso dos recursos financeiros e operacionais da concessionária ou órgão gestor.

A etapa de priorização das OAEs, apresentada anteriormente, fornece subsídios técnicos fundamentais para o planejamento dos projetos e intervenções de manutenção, assegurando que os recursos disponíveis sejam direcionados às estruturas com maior impacto na segurança e na continuidade do tráfego. Esse processo resulta em defesas orçamentárias anuais mais consistentes, refletindo em atuações alinhadas com os ativos prioritários e garantindo a segurança dos usuários e da operação viária ou ferroviária.

O Plano de Manutenção deve ser entendido também como um instrumento de planejamento estratégico de médio e longo prazo, integrando-se ao Plano de Negócios da companhia ou programas de investimentos públicos. Nessa perspectiva, o documento deve conter:

- Cenário atual da condição dos ativos;
- Planos de monitoramento do desempenho dos ativos;
- Estratégias de manutenção preventiva, corretiva e preditiva;
- Diretrizes para a substituição ou reabilitação de estruturas críticas;
- Iniciativas estruturantes de gestão, inovação tecnológica e sustentabilidade;
- Programas de capacitação e atualização técnica.

O fluxograma a seguir apresenta, de forma esquemática, a lógica do ciclo de manutenção das OAEs, destacando a importância da retroalimentação contínua entre as etapas de conhecimento do desempenho, inspeção, avaliação estrutural e execução das ações de manutenção.

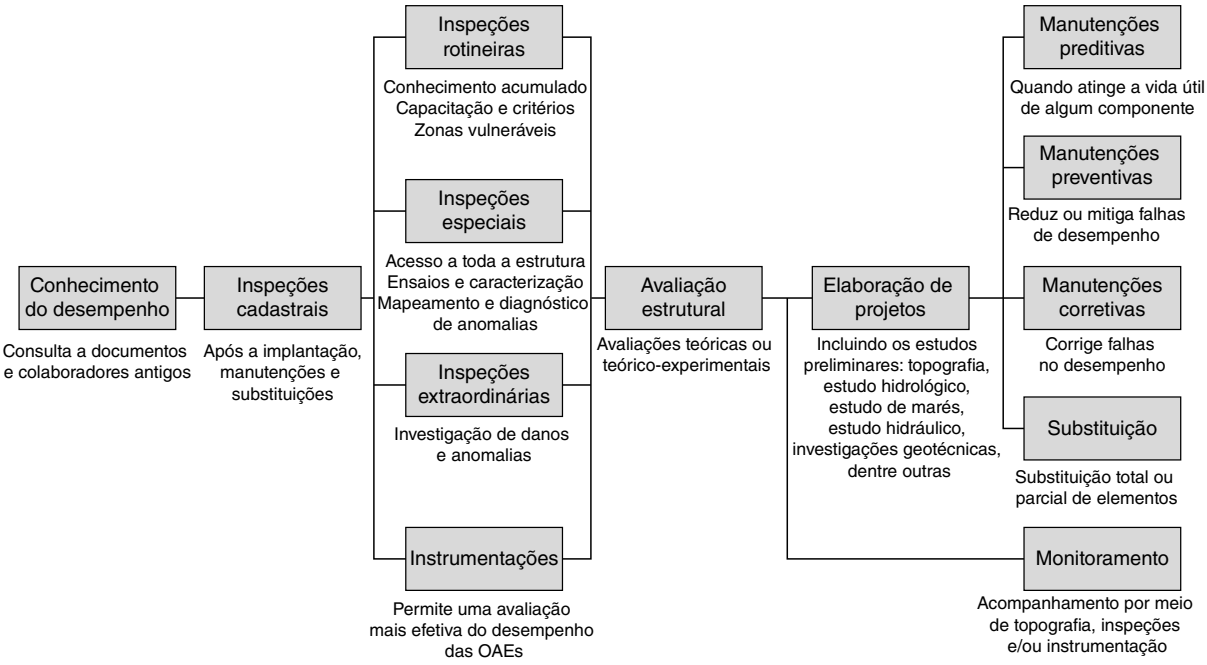

Figura 5: Plano de Manutenção de OAEs

A consolidação desse processo permite que as organizações evoluam de uma gestão reativa para uma gestão proativa, baseada em evidências técnicas e dados de desempenho. Com isso, o plano de manutenção torna-se um instrumento estratégico, essencial para garantir a confiabilidade, a disponibilidade e a segurança estrutural das OAEs brasileiras.

9. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E CUSTOS DE MANUTENÇÃO

A gestão moderna de OAEs exige que decisões técnicas considerem não apenas o desempenho estrutural, mas também os custos associados ao ciclo de vida das estruturas. A Análise de Custos do Ciclo de Vida (*Life-Cycle Cost Analysis* – LCCA) é uma metodologia amplamente adotada internacionalmente para avaliar a relação custo-benefício de diferentes soluções de engenharia ao longo da vida útil de uma ponte, viaduto ou passarela.

Embora consolidada em países com sistemas de gestão maduros, a aplicação consistente de LCCA ainda é incipiente no Brasil. A ausência desse tipo de análise limita a previsibilidade orçamentária, dificulta a priorização racional de intervenções e reduz a eficiência do ciclo de manutenção. Assim, incluir a LCCA nos processos de tomada de decisão representa um avanço essencial para a profissionalização e sustentabilidade da gestão de OAEs no país.

A Figura 6 ilustra uma análise do custo de um ativo ao longo da sua vida útil, incluindo os custos iniciais de implantação (CAPEX) que envolvem as investigações, projeto, aquisição e construção, e os custos de operação (OPEX), associados à própria operação, a manutenções planejadas e aos custos de não confiabilidade do ativo.

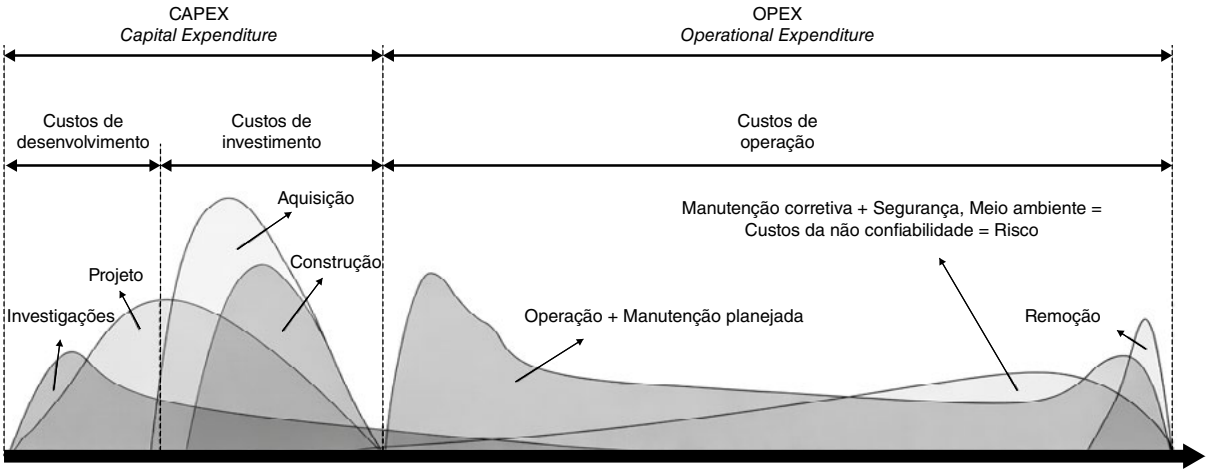

Figura 6: Análise de Custos do Ciclo de Vida (Fonte: Parra, 2015)

Essa abordagem é importante para suportar as análises referentes aos ativos, trazendo os seguintes benefícios:

- Todos os custos associados a um ativo tornam-se visíveis e mensuráveis, tais como os custos iniciais de implantação e os custos subsequentes de manutenção;
- Permite uma análise das interrelações entre os custos de implantação e operação: baixos investimentos nas fases iniciais de implantação normalmente geram maiores custos de manutenção ao longo do tempo;
- Permite que gestores gerem previsões adequadas de investimentos CAPEX e OPEX durante as tomadas de decisões relacionadas ao ativo, tal como a sua reabilitação, reforço ou substituição, no caso de OAEs.

A incorporação formal da Análise de Ciclo de Vida e Custos de Manutenção nos processos de tomada de decisão representa um salto de maturidade na gestão de OAEs no Brasil. Essa abordagem permite:

- otimização de recursos;
- maior segurança e disponibilidade operacional;
- redução de riscos de interrupções e de colapso;
- planejamento estratégico mais robusto e previsível;
- justificativas técnicas mais sólidas diante de auditorias, seguradoras, órgãos reguladores e financiadores.

A adoção da LCCA, aliada a bancos de dados eficientes e metodologias de avaliação de risco, contribui para a evolução contínua da engenharia de OAEs e para a modernização do setor de infraestrutura nacional.

9.1. Conceitos e metodologia da LCCA aplicada a OAEs

A LCCA consiste na avaliação sistemática de todos os custos incorridos durante a vida útil de uma estrutura, considerando desde o investimento inicial até os custos finais de demolição ou substituição. Entre os principais componentes analisados destacam-se:

- Custos iniciais: estudos preliminares, projetos, materiais, construção e comissionamento;
- Custos de operação e manutenção: inspeções, intervenções preventivas, corretivas e emergenciais;
- Custos de reabilitação ou reforço: grandes obras de recuperação;
- Custos associados à substituição futura, quando aplicável;
- Custos residuais e ambientais, incluindo desmontagens e impactos indiretos.

Quando aplicada a OAEs, a LCCA deve considerar características específicas, como durabilidade dos materiais, agressividade ambiental, acessibilidade para inspeções, vida útil de aparelhos de apoio e juntas, vida residual à fadiga e previsões de deterioração do desempenho estrutural e operacional da via.

Metodologias comuns incluem:

- Valor Presente Líquido (VPL): converte todos os custos a valor presente usando taxa de desconto;
- Custo Anual Equivalente (CAE): converte o custo total em um valor anualizado, facilitando comparações;
- Análise probabilística: incorpora incertezas de deterioração, custos e taxas de desconto, aumentando a precisão da previsão.

9.2. Custos diretos e indiretos na tomada de decisão

A análise de ciclo de vida deve considerar custos diretos e indiretos, ampliando a compreensão do impacto real de cada intervenção.

Custos diretos:

- Materiais, mão de obra, equipamentos e serviços;
- Projetos, ensaios, sinalização de obra e supervisão;
- Intervenções de reforço, reabilitação ou substituição.

Custos indiretos (frequentemente negligenciados no Brasil):

- Interferências no tráfego, como desvios, reduções de capacidade, filas e lentidão;
- Aumento do risco operacional durante obras, especialmente em vias de alto volume ou ativos ferroviários singelos;
- Impactos socioeconômicos, como:
  - aumento dos tempos de viagem;
  - custos logísticos para transporte de cargas;
  - redução de produtividade;
  - efeitos negativos sobre o comércio local;
- Custos ambientais, como emissões associadas a congestionamento.

Em muitos casos, os custos indiretos superam os custos diretos de obra, especialmente em corredores logísticos ou vias de grande importância estratégica. Estruturas críticas, portanto, podem demandar soluções com maior investimento inicial, mas menor impacto operacional.

9.3. Comparação entre alternativas de intervenção

A LCCA é particularmente útil para comparar diferentes alternativas de engenharia, considerando desempenho técnico, riscos, durabilidade e custos ao longo da vida útil. Em OAEs, as principais alternativas normalmente consideradas são:

(i) Reforço estrutural: Indicado quando a estrutura apresenta fragilidades localizadas, perda parcial de capacidade ou necessidade de aumento de carga.

Vantagens: menor custo inicial, geralmente menor impacto operacional, menor impacto ambiental e preservação da estrutura existente.

Desvantagens: pode ter vida útil limitada, não resolve todas as manifestações patológicas e pode exigir frequentes intervenções futuras.

(ii) Reabilitação: Inclui intervenções mais abrangentes, como reforços sistemáticos, substituição de aparelhos de apoio, reparo das estruturas, proteção anticorrosiva e melhorias funcionais.

Vantagens: estende de forma significativa a vida útil e reduz a frequência das obras de manutenção futuras.

Desvantagens: custo intermediário e impacto operacional moderado.

(iii) Substituição: Aplicável quando a estrutura atinge um nível crítico de deterioração, quando não atende mais às demandas funcionais ou operacionais ou ainda quando atinge limites de desempenho de segurança, como exemplo a sua vida residual à fadiga.

Vantagens: maior vida útil futura, incorporação de padrões modernos de segurança e operação, e redução de riscos.

Desvantagens: alto custo inicial e, geralmente, médio a grande impacto operacional no curto prazo.

A LCCA permite comparar essas alternativas considerando:

- custos totais ao longo da vida útil;
- desempenho esperado;
- impactos operacionais e no tráfego;
- confiabilidade estrutural;
- probabilidade de falha;
- implicações ambientais.

Essa análise fortalece a justificativa técnica em processos orçamentários e diante de órgãos de controle, promovendo decisões defensáveis, transparentes e custo-eficientes.

9.4. Papel dos bancos de dados históricos de desempenho

A eficácia de uma LCCA depende diretamente da qualidade dos dados utilizados. A manutenção de bases históricas consistentes produz benefícios significativos:

- melhora a precisão de modelos de deterioração;
- permite prever necessidades de intervenção com maior antecedência;
- reduz incertezas na avaliação de risco;
- aumenta a confiabilidade das estimativas econômicas.

No contexto brasileiro, a ausência de séries históricas confiáveis é um dos maiores entraves para análises robustas de ciclo de vida. Portanto, recomenda-se que os gestores desenvolvam:

- sistemas de gestão de ativos estruturados;
- padronização de inspeções e registros;
- bases de dados integradas;
- monitoramento do desempenho temporário ou contínuo em estruturas críticas;
- procedimentos de retroalimentação que utilizem dados reais para melhorar modelos preditivos.

Quanto maior a qualidade e a quantidade de dados, mais precisa será a previsão de custos e desempenhos ao longo do ciclo de vida.

10. PLANEJAMENTO DAS INTERVENÇÕES E EXECUÇÃO DE OBRAS

O planejamento das intervenções e a execução das obras constituem etapas críticas dentro do ciclo de vida das OAEs, sendo determinantes para assegurar a integridade estrutural, a funcionalidade e a durabilidade das estruturas. A adoção de metodologias de gestão estruturadas, o atendimento às exigências legais e ambientais, o adequado processo de contratação e planejamento da execução, e o controle rigoroso de qualidade do processo executivo e materiais da obra são elementos essenciais para garantir resultados consistentes, seguros e sustentáveis.

10.1. Metodologias de gestão de projetos aplicadas às intervenções

O sucesso das intervenções em OAEs depende de um planejamento técnico detalhado, aliado a uma gestão de projetos eficiente. Neste contexto, o termo projeto é compreendido como um empreendimento temporário, com início e fim definidos, estruturado para alcançar objetivos específicos de prazo, custo, qualidade, segurança e desempenho, envolvendo atividades de planejamento, coordenação, execução, controle e encerramento. Essa definição é distinta das entregas técnicas de engenharia (como projeto conceitual, básico e executivo) que constituem etapas ou produtos dentro de um projeto mais amplo.

A gestão adequada desses empreendimentos é fundamental para assegurar que as intervenções em OAEs sejam executadas de forma integrada, previsível e alinhada às estratégias do gestor do ativo. Entre as metodologias de gestão de projetos aplicáveis, destacam-se:

- **FEL (Front-End Loading):** abordagem tradicional baseada em fases, amplamente utilizada em empreendimentos de infraestrutura, que busca o amadurecimento progressivo das informações antes da tomada de decisão de investimento. Essa metodologia é estruturada em três etapas principais, garantindo previsibilidade de custos, prazos e riscos:

  FEL 1: Definição de escopo e viabilidade;

FEL 2: Concepção e estimativas preliminares;

FEL 3: Detalhamento e planejamento executivo.

- **Metodologias Ágeis:** aplicáveis a projetos de menor porte ou de manutenção contínua, permitem maior flexibilidade e adaptação às condições de campo, priorizando entregas incrementais e interação constante entre os times técnicos e operacionais.
- **PMBOK e outras abordagens híbridas:** recomendadas para contratos de médio e grande porte, combinam o planejamento estruturado com práticas ágeis, permitindo um melhor equilíbrio entre controle e adaptabilidade.

Independentemente da metodologia adotada, é essencial a elaboração de um plano que inclua escopo, cronograma, estimativa de custos, matriz de riscos, plano de comunicação e plano de segurança.

10.2. Elaboração de orçamentos e contratações de obras

A fase de contratação é uma das mais críticas para garantir o sucesso das intervenções. Um processo bem estruturado assegura que as obras sejam executadas conforme os requisitos técnicos e de qualidade estabelecidos, mitigando riscos de atrasos, retrabalhos e custos adicionais.

A definição de um orçamento-base consistente é fundamental para a adequada contratação e execução das obras. Devem ser considerados os custos diretos (materiais, mão de obra, equipamentos) e indiretos (mobilização, sinalização, licenciamento, gestão e supervisão), além das provisões para riscos e imprevistos.

Para obras públicas, o orçamento deve estar em conformidade com os parâmetros de referência do Sistema de Custos de Obras e observar os limites legais de sobrepreço e superfaturamento previstos na legislação vigente. É fundamental observar os princípios da Lei nº 14.133/2021, que rege as licitações e contratos administrativos no Brasil, assegurando transparência, isonomia e eficiência na aplicação dos recursos públicos.

As condições de contratação devem prever critérios de habilitação técnica, avaliação de desempenho anterior, mecanismos de controle de qualidade e, quando pertinente, instrumentos contratuais que incentivem a performance, como bonificações por cumprimento de metas de prazo, quantidade executada e segurança (SLA – Service Level Agreement ou Acorde de Nível de Serviço).

Em contratações privadas, recomenda-se a adoção de modelos de *scorecard* técnico, que atribuem pesos diferenciados aos critérios de capacidade técnica da equipe e da empresa, metodologia executiva e capacidade operacional, maturidade dos processos de gestão, indicadores diversos e inovação, evitando decisões baseadas exclusivamente em menor preço.

A elaboração criteriosa dos editais, a definição de escopos técnicos bem estruturados e a seleção de empresas com comprovada capacidade técnica e histórico de desempenho adequado são fatores determinantes para garantir que as obras atendam aos padrões de desempenho esperados. A contratação eficiente, pautada em critérios técnicos e não apenas em aspectos comerciais, contribui diretamente para a conformidade da execução da obra, otimização do ciclo de vida das estruturas e para a redução de custos ao longo do tempo.

10.3. Licenciamento ambiental e autorizações especiais

As intervenções em OAEs devem atender às legislações ambientais e de patrimônio histórico vigentes. Entre os principais processos de licenciamento, destacam-se:

- **Outorga e dispensa de outorga:** obrigatória para intervenções que envolvem captação, lançamento ou desvio de corpos d'água, devendo ser solicitada junto ao órgão gestor de recursos hídricos;
- **Supressão vegetal:** requer autorização específica dos órgãos ambientais estaduais ou municipais, com compensações quando aplicável;
- **Licenciamento ambiental simplificado ou completo:** conforme o porte e o impacto da intervenção, podendo envolver Licença Prévia (LP), de Instalação (LI) e de Operação (LO).
- **Autorizações de patrimônio histórico e cultural:** quando a OAE ou seu entorno estiver sob proteção de órgãos de defesa do patrimônio histórico, artístico ou turístico, nas esferas municipais, estaduais ou federal, as obras devem ser precedidas de análise e aprovação desses órgãos.
- **Licenciamento em áreas de sítio arqueológico e outras áreas sensíveis:** deve-se realizar prospecção arqueológica e solicitar autorização junto ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) ou congêneres no âmbito estadual, garantindo a preservação do acervo histórico e cultural.

O não atendimento a essas exigências pode acarretar paralisações, sanções administrativas e comprometimento da legalidade das obras.

10.4. Controle de qualidade, rastreabilidade e segurança do trabalho

Durante a execução das obras, deve ser implantado um sistema de controle tecnológico e de qualidade, abrangendo:

- rastreabilidade dos materiais utilizados;
- inspeção e ensaios de controle de execução;
- verificação de conformidade com as especificações técnicas e projetos;
- documentação fotográfica e registros de campo.

O controle de qualidade deve estar integrado ao Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) do contratante, permitindo auditorias e rastreabilidade total do processo.

A segurança do trabalho, legislações trabalhistas e o respeito às normas ambientais devem ser priorizados, com a implementação de Planos de Segurança e Saúde no Trabalho (PSST) e Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), assegurando que as atividades sejam executadas de forma segura e conforme a legislação.

10.5. Aceitação da obra e garantia

A conclusão das obras deve ser acompanhada de procedimentos formais de aceitação, que incluem inspeções finais, verificação da conformidade física e documental, e, quando pertinente, a realização de ensaios de desempenho. Esses procedimentos visam assegurar que a

intervenção foi executada em conformidade com os projetos, especificações técnicas, normas aplicáveis e requisitos contratuais.

A emissão do Termo de Aceitação da Obra representa a transferência formal da responsabilidade pela estrutura para o contratante e marca o início do período de garantia contratual, durante o qual o executor permanece responsável pela correção de eventuais falhas construtivas, vícios ocultos ou não conformidades identificadas.

Esse processo deve ser acompanhado pela entrega e validação da documentação *as built*, relatórios de execução, registros fotográficos, certificados de materiais, resultados de ensaios e demais documentos técnicos consolidados. Essas informações devem ser incorporadas aos sistemas de gestão das OAEs, assegurando a rastreabilidade técnica e a continuidade do histórico da estrutura ao longo de sua vida útil.

Adicionalmente, pode ser previsto o Acompanhamento Técnico da Obra (ATO), realizado por equipe própria do contratante, por empresa especializada ou pelo próprio projetista da estrutura, conforme o modelo de contratação adotado. O ATO consiste em um processo estruturado de acompanhamento técnico durante a execução da obra, conduzido por profissionais qualificados, com o objetivo de verificar a aderência da execução aos projetos aprovados, às normas técnicas, aos procedimentos de segurança e ao cronograma estabelecido.

Em muitos casos, o ATO também compreende a assistência técnica do projetista à obra, incluindo o esclarecimento de dúvidas relativas ao projeto, a análise de condições encontradas em campo e, quando necessário, a proposição de ajustes ou adaptações técnicas compatíveis com os critérios de projeto e as normas aplicáveis. Esse acompanhamento contribui para assegurar que eventuais decisões tomadas durante a execução estejam alinhadas às premissas de projeto e aos requisitos de desempenho previstos para a OAE.

A adoção do ATO contribui para a prevenção de não conformidades, a redução de retrabalhos, o controle da qualidade executiva e a mitigação de riscos técnicos, refletindo diretamente na durabilidade, no desempenho e na confiabilidade da estrutura ao longo de sua vida útil.

10.6. Visão integrada do ciclo de intervenções

O planejamento e a execução de obras em OAEs devem ser tratados como parte de um ciclo contínuo de gestão de ativos, no qual as informações provenientes das inspeções, avaliações e planos de manutenção retroalimentam o planejamento de novas intervenções. Essa integração assegura o uso racional dos recursos, a mitigação de riscos e a maximização da confiabilidade estrutural, em consonância com os objetivos estratégicos de segurança e sustentabilidade.

11. GESTÃO DE AÇÕES EMERGENCIAIS, RISCO OPERACIONAL E RESILIÊNCIA

A definição de planos de contingência para ações e atendimentos emergenciais devem ser previstos nos processos de gestão das OAEs, pois visa garantir a segurança dos usuários e a continuidade operacional do sistema de transportes diante de ocorrências inesperadas que possam comprometer a integridade estrutural ou a funcionalidade das infraestruturas.

Situações emergenciais podem decorrer de anomalias estruturais graves, eventos naturais extremos, impactos acidentais, falhas construtivas ou ocorrências associadas ao envelhecimento das estruturas. A capacidade de resposta imediata e coordenada da equipe gestora é determinante para evitar acidentes, mitigar danos e reduzir custos futuros com reparos de maior complexidade.

11.1. Importância das Ações Emergenciais

As ações emergenciais representam o primeiro nível de resposta após a identificação de uma condição crítica em uma OAE. Têm como principal objetivo preservar a segurança dos usuários e da infraestrutura, até que sejam realizadas as intervenções de recuperação ou reforço necessárias.

Essas ações devem estar inseridas em um plano de contingência estruturado, com fluxos de comunicação bem definidos, protocolos técnicos de atuação e meios contratuais que possibilitem mobilização imediata de recursos humanos e materiais.

Além de reduzir o risco de colapso estrutural, tais ações contribuem para a manutenção da confiabilidade operacional da malha de transportes, evitando interrupções prolongadas ou prejuízos socioeconômicos relevantes.

11.2. Identificação e classificação de ameaças

A identificação de ameaças constitui a etapa fundamental para a avaliação de risco. As OAEs estão expostas a diversos tipos de ameaças, que podem ser agrupadas da seguinte forma:

- Ameaças hidrológicas: Enchentes, variação brusca de nível d'água, erosão de margens, socavamento de fundações e impactos de detritos transportados pelo rio;
- Ameaças geotécnicas: Instabilidade de taludes de aproximação, recalques diferenciais, movimentações de fundações e liquefação em áreas suscetíveis;
- Ameaças estruturais: Degradação de materiais, fadiga, falhas de juntas e aparelhos de apoio, perda de seção em elementos metálicos, anomalias construtivas e solicitações não previstas em projeto;
- Ameaças climáticas: Temperaturas extremas, variações térmicas intensificadas, ciclos acelerados de umidade e temperatura, ventos fortes e eventos extremos ampliados pelas mudanças climáticas;
- Ameaças operacionais: Colisões de veículos, sobrecargas, impactos de embarcações, incêndios, manutenções inadequadas ou interrupção de rotinas de inspeção.

A consolidação dessas ameaças em bases corporativas permite análises mais robustas e alinhadas às práticas internacionais de gestão de ativos.

11.3. Exemplos de Ações Emergenciais

Entre as principais ações emergenciais que podem ser adotadas e previstas em planos de contingência, destacam-se:

- Interdições totais ou parciais, quando há risco iminente à segurança estrutural ou ao tráfego de veículos e pedestres;

- Restrição de carga ou peso dos veículos, a fim de reduzir os esforços solicitantes sobre a estrutura até a execução das intervenções corretivas;
- Restrição de velocidade, medida especialmente aplicável em OAEs ferroviárias, visando minimizar impactos dinâmicos e vibrações sobre o tabuleiro, estruturas principais e seus apoios;
- Monitoramento topográfico e instrumentação, utilizando técnicas como extensometria, acelerometria, estação robótica e outros dispositivos, que permitem o acompanhamento contínuo de deslocamentos, fissuras ou variações anômalas no comportamento estrutural;
- Intensificação das inspeções, com equipes especializadas realizando vistorias mais frequentes, possibilitando avaliar a evolução das anomalias e readequar as medidas de controle quando necessário.

Essas ações emergenciais, implementadas de forma coordenada e tempestiva, são fundamentais para manter a segurança operacional e evitar o agravamento das patologias estruturais, reduzindo assim os custos futuros de reparo e restabelecimento.

11.4. Planejamento e Execução de Atendimentos Emergenciais

A execução de atendimentos emergenciais requer processos internos bem definidos, com papéis e responsabilidades claramente estabelecidos entre as áreas técnicas, operacionais e de gestão, normalmente previstos em planos de contingência.

Deve-se prever um protocolo de acionamento rápido, que inclua:

- Identificação da anomalia e classificação do nível de risco;
- Comunicação imediata às áreas responsáveis e autoridades competentes;
- Definição e implantação das medidas de mitigação e isolamento da área;
- Mobilização de equipes técnicas e fornecedores.

Para garantir agilidade, é recomendável que a organização mantenha contratos específicos de pronto atendimento, com cláusulas que prevejam mobilização emergencial de fornecedores e disponibilidade de recursos em curto prazo. Tais instrumentos contratuais devem contemplar aspectos técnicos, logísticos e administrativos, assegurando a resposta adequada em qualquer horário ou condição operacional.

11.5. Temporalidade das Ações e Importância do Reestabelecimento

As ações emergenciais devem ser realizadas com a devida urgência e temporalidade adequada, evitando o agravamento das condições estruturais, o risco aos usuários e o consequente aumento dos custos de recuperação.

Após a execução das medidas emergenciais, deve-se proceder à avaliação técnica detalhada da estrutura, com elaboração de projetos executivos de reabilitação e planejamento das obras definitivas voltadas ao reestabelecimento da integridade estrutural.

A integração entre o plano de manutenção e o plano de emergências é fundamental para garantir coerência nas decisões e otimização dos recursos, permitindo que as medidas corretivas sejam priorizadas de forma técnica, segura e sustentável.

11.6. Estratégias de resiliência em situações emergenciais

A gestão emergencial deve estar alinhada a estratégias de resiliência, que ampliam a capacidade do sistema de resistir, responder e recuperar-se após eventos adversos. Entre as principais estratégias aplicadas a OAEs destacam-se:

- Redundância: Rotas alternativas, elementos estruturais adicionais ou sistemas que permitam manter a operação mesmo diante da falha de um componente;
- Robustez: Capacidade da estrutura de suportar ações inesperadas sem colapso, reforçando pontos críticos e reduzindo vulnerabilidades;
- Recuperação rápida: Procedimentos, equipes e contratos pré-estabelecidos que permitam restabelecer o tráfego de forma rápida e segura, minimizando impactos econômicos e sociais.

Incorporar esses princípios ao planejamento de contingência emergencial aumenta substancialmente a confiabilidade operacional do sistema de transporte em que estão inseridas as OAEs.

11.7. Eventos extremos

A intensificação e aumento da frequência de eventos climáticos extremos como enchentes, erosões, movimentos de massa, ventos fortes e variações térmicas acentuadas torna ainda mais urgente a adoção de planos emergenciais robustos e integrados.

Esses eventos podem:

- aumentar solicitações estruturais;
- acelerar processos de degradação;
- comprometer aterros, encontros e fundações;
- gerar impactos hidrológicos severos;
- provocar interrupções prolongadas na operação.

Nesse contexto, a preparação adequada para emergências não é apenas uma recomendação técnica, mas uma necessidade operacional e de segurança pública. A adoção de protocolos de resposta rápida e estratégias resilientes garante maior capacidade de enfrentamento e restabelecimento do sistema.

12. ESPECIFICAÇÕES E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

A padronização e a formalização de especificações e procedimentos técnicos constituem um dos pilares da gestão eficiente das OAEs. Esses documentos têm como finalidade orientar a execução das atividades de monitoramento, avaliação, priorização, projetos e manutenção, assegurando que todas as etapas sejam realizadas de forma uniforme, rastreável e conforme critérios técnicos reconhecidos.

12.1. Importância da documentação e padronização

A adoção de especificações e procedimentos técnicos padronizados promove o nivelamento do conhecimento entre os profissionais envolvidos na gestão e operação das OAEs. Ao estabelecer requisitos mínimos de qualidade, critérios de execução e parâmetros de controle, esses documentos reduzem a subjetividade das avaliações e contribuem para decisões mais consistentes e baseadas em evidências. Além disso, a documentação técnica permite a integração entre diferentes equipes e contratados, evitando interpretações divergentes e promovendo a uniformização das práticas entre engenharias de campo e corporativas.

Os procedimentos técnicos devem ser redigidos de forma clara e objetiva, descrevendo as metodologias de inspeção, ensaio, avaliação estrutural, priorização e manutenção, bem como os requisitos de segurança, qualidade, equipamentos utilizados e formatos de registro de dados. Já as especificações técnicas devem definir os materiais, padrões de execução e critérios de aceitação, garantindo o desempenho esperado das intervenções.

12.2. Rastreabilidade e controle de qualidade

A formalização documental de forma organizada é também uma ferramenta essencial para garantir a rastreabilidade das informações ao longo de todo o ciclo de vida da OAE. Cada inspeção, ensaio, projeto, intervenção ou modificação deve ser devidamente registrada e vinculada à estrutura correspondente, formando um histórico técnico confiável e auditável.

Essa rastreabilidade permite não apenas o acompanhamento da evolução do estado de conservação, o conhecimento acumulado sobre a estrutura, mas também a verificação da conformidade das atividades executadas com os padrões estabelecidos, servindo de suporte a auditorias técnicas, certificações e revisões contratuais.

Quando bem implementados, os sistemas de gestão da documentação e controle de qualidade contribuem diretamente para a transparência da gestão pública e corporativa, além de fortalecer a credibilidade institucional perante órgãos reguladores e sociedade.

12.3. Retenção do conhecimento técnico e lições aprendidas

Outro papel fundamental das especificações e procedimentos técnicos é a retenção e disseminação do conhecimento técnico acumulado. A formalização das práticas, experiências e lições aprendidas evita que o *know-how* técnico se perca com a rotatividade de equipes e garante que as boas práticas sejam continuamente aprimoradas e replicadas.

Nesse contexto, recomenda-se que as instituições mantenham um banco de lições aprendidas e um sistema de revisão periódica dos procedimentos técnicos, incorporando novas tecnologias e inovações, resultados de pesquisas e experiências de campo. Essa prática contribui para a melhoria contínua dos processos e para o aumento da confiabilidade das OAEs.

Por fim, a consolidação de um repositório técnico institucional, contendo normas internas, manuais, relatórios de inspeção, projetos, fichas de manutenção e registros de intervenções, deve ser vista como uma atividade estratégica da gestão. Tal iniciativa assegura a rastreabilidade das decisões, facilita auditorias técnicas e promove a integração entre as diferentes áreas envolvidas na gestão das OAEs.

13. GESTÃO DE CONTRATOS

A gestão de contratos também é um fundamento importante na administração eficiente das OAEs, pois assegura que os serviços e obras contratados sejam executados conforme os padrões técnicos, prazos e custos estabelecidos. Um processo de gestão contratual robusto permite mitigar riscos, garantir conformidade legal e manter a rastreabilidade de todas as etapas envolvidas no fornecimento de materiais e serviços.

13.1. Importância da Qualificação de Fornecedores

A qualificação de fornecedores é uma etapa fundamental para assegurar a execução de serviços de engenharia com qualidade, segurança e responsabilidade técnica. Como já abordado no processo de contratação, a seleção deve considerar não apenas o menor preço, mas também critérios de capacidade técnica, histórico de desempenho, saúde financeira, certificações de qualidade e cumprimento de normas de segurança e ambientais.

A manutenção de um cadastro de fornecedores qualificados e o monitoramento periódico de seu desempenho contribuem para a construção de uma base de parceiros confiáveis, promovendo maior previsibilidade e eficiência nas contratações futuras.

13.2. Controle de Prazo, Custo e Produtividade

A gestão contratual deve prever mecanismos eficientes para o controle de prazos, custos e produtividade, de modo a garantir o cumprimento das metas estabelecidas no planejamento. Ferramentas de gestão de projetos, relatórios de avanço físico-financeiro e indicadores de desempenho (KPIs) são instrumentos essenciais para o acompanhamento das execuções e para a tomada de decisão em tempo hábil.

A análise comparativa entre o previsto e o realizado, tanto em termos de cronograma quanto de custo, permite identificar desvios e implementar medidas corretivas de forma proativa, evitando atrasos e comprometimentos orçamentários.

13.3. Monitoramento da Saúde do Fornecedor

O desempenho sustentável de contratos depende também da saúde técnica, operacional e financeira do fornecedor. Avaliações periódicas sobre a estrutura administrativa, situação fiscal e cumprimento de obrigações contratuais permitem antecipar riscos de descontinuidade e adotar planos de contingência quando necessário.

Esse monitoramento deve incluir a verificação de indicadores de produtividade, segurança, qualidade e de conformidade, assegurando que o contratado mantenha as condições adequadas de operação ao longo de toda a execução do contrato.

13.4. Cumprimento de Obrigações Trabalhistas e Fiscais

O acompanhamento do cumprimento das obrigações trabalhistas, previdenciárias e fiscais por parte das contratadas é essencial para evitar passivos e riscos de corresponsabilidade do contratante, conforme previsto na legislação brasileira.

A implantação de sistemas de controle documental, como certidões de regularidade, comprovantes de pagamento de encargos e listas de presença em canteiros de obras, é uma boa prática que reforça a transparência e a conformidade com as exigências legais.

Além disso, o contratante deve assegurar que todas as condições de trabalho no local da obra e em alojamentos estejam em conformidade com as Normas Regulamentadoras (NRs), garantindo segurança e saúde ocupacional aos trabalhadores.

13.5. Compliance e Governança Contratual

A gestão de contratos deve estar alinhada às políticas de compliance, integridade e governança corporativa da organização. Isso inclui a adoção de códigos de conduta, cláusulas anticorrupção, programas de integridade e mecanismos de denúncia de irregularidades.

Um ambiente de contratualização transparente e ético fortalece a credibilidade institucional, reduz riscos legais e assegura que as contratações estejam orientadas pelos princípios da legalidade, eficiência e responsabilidade social.

A integração entre áreas técnicas, jurídicas, financeiras e de auditoria interna é essencial para garantir o cumprimento das boas práticas contratuais e o aprimoramento contínuo dos processos de gestão.

14. TREINAMENTOS DE CAPACITAÇÃO TÉCNICA

A qualificação das equipes técnicas é essencial para a gestão eficiente das OAEs. Apesar dos avanços tecnológicos e metodológicos observados nos últimos anos, ainda há limitação significativa de profissionais com formação e experiência específica na área de pontes, viadutos, passarelas e estruturas de grande porte. Essa carência impacta diretamente na qualidade das inspeções, avaliações estruturais, projetos, implantação, intervenções de manutenção e tomadas de decisão ao longo do ciclo de vida das obras.

14.1. Importância da Capacitação Técnica

É indispensável o desenvolvimento contínuo de iniciativas de capacitação técnica, tanto para engenheiros e técnicos que atuam diretamente na gestão e manutenção das OAEs, quanto para profissionais das áreas correlatas.

A capacitação deve abranger desde conceitos fundamentais de comportamento estrutural, até o domínio de ferramentas avançadas de análise, monitoramento e instrumentação, quando pertinente, incorporando também os aspectos normativos, operacionais, regulatórios, contratuais e de gestão de riscos.

A formação técnica adequada contribui para o aumento da confiabilidade das avaliações, a redução de erros em inspeções, a melhoria na elaboração de projetos e especificações e a eficiência nas intervenções de manutenção. Além disso, fortalece a cultura organizacional voltada à confiabilidade e à sustentabilidade das estruturas.

14.2. Desenvolvimento e Disseminação do Conhecimento

Programas de treinamento devem ser estruturados de forma sistematizada e contínua, incorporando:

- Cursos internos e externos de atualização técnica;
- Participação em seminários, congressos e workshops especializados;
- Adoção de programas de mentoria entre profissionais experientes e novos colaboradores;
- Criação de comunidades internas de prática e grupos de discussão técnica;
- Incentivo à formação acadêmica e à pesquisa aplicada em OAEs.

Essas iniciativas fortalecem a retenção e o compartilhamento do conhecimento técnico, assegurando que as experiências acumuladas pela organização, especialmente aquelas adquiridas na prática, sejam devidamente documentadas e transmitidas às gerações futuras de profissionais.

14.3. Retenção e Gestão do Conhecimento

A retenção do conhecimento técnico é um desafio crítico em ambientes com alta rotatividade ou dependência de especialistas externos. Para mitigar esse risco, é essencial implementar mecanismos formais de gestão do conhecimento, como:

- Registro e padronização de procedimentos e especificações técnicas;
- Elaboração de relatórios de lições aprendidas após inspeções, projetos e obras;
- Criação de bases de dados corporativas acessíveis e estruturadas;
- Utilização de plataformas digitais de compartilhamento técnico.

Essas medidas garantem a continuidade técnica da gestão, mesmo diante de mudanças de equipe, além de promover a melhoria contínua dos processos e o aumento da maturidade institucional.

14.4. Cultura de Excelência e Inovação

A construção de uma cultura de excelência na gestão de OAEs está diretamente associada à capacidade das organizações de integrar, de forma sinérgica, três pilares fundamentais: pessoas, processos e conhecimento (Figura 7). O alinhamento consistente desses elementos cria as bases para a inovação contínua, a melhoria do desempenho e a sustentabilidade da gestão ao longo do tempo.

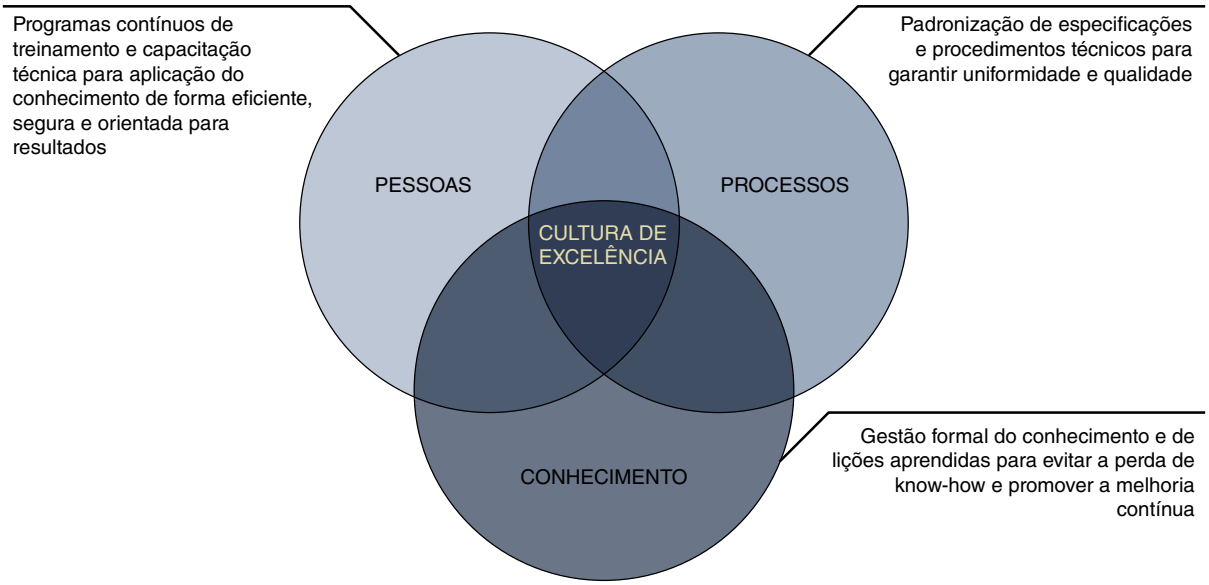

Figura 7: Pilares fundamentais para uma cultura de excelência

A capacitação técnica deve ser compreendida não apenas como um investimento isolado em pessoas, mas como parte de uma estratégia estruturante de gestão de ativos. Profissionais qualificados, quando inseridos em processos bem definidos, padronizados e rastreáveis, são capazes de aplicar o seu conhecimento técnico de forma mais segura, eficiente e orientada a resultados. Da mesma forma, processos robustos perdem efetividade quando não são sustentados por equipes capacitadas e por mecanismos adequados de gestão e retenção do conhecimento.

O conhecimento técnico, seja ele normativo, empírico, histórico ou oriundo de experiências práticas, constitui um ativo estratégico. Sua sistematização, atualização e disseminação são essenciais para apoiar a tomada e a rastreabilidade das decisões, reduzir incertezas, evitar a repetição de falhas e promover a incorporação de inovações tecnológicas. Nesse contexto, a inovação não deve ser vista apenas como a adoção de novas ferramentas ou tecnologias, mas como a capacidade organizacional de aprender, adaptar-se e evoluir continuamente.

Organizações que promovem um ambiente de aprendizado permanente, incentivo à troca de experiências, valorização das lições aprendidas e melhoria contínua dos processos tendem a alcançar níveis superiores de excelência técnica, confiabilidade operacional e eficiência econômica. Essa cultura favorece a adoção consciente de novas metodologias, tecnologias digitais e abordagens inovadoras.

Assim, a cultura de excelência e inovação torna-se um elemento transversal à gestão das OAEs, conectando capacitação técnica, padronização de processos e gestão do conhecimento, e contribuindo de forma decisiva para a preservação da integridade estrutural, a segurança dos usuários, a eficiência operacional e a evolução sustentável da infraestrutura de transportes.

15. AÇÕES JUNTO A ÓRGÃOS REGULADORES E ÁREAS DE INTERFACE

A gestão de OAEs exige não apenas excelência técnica, mas também integração efetiva com órgãos reguladores, instituições públicas e a sociedade. Esse alinhamento é fundamental para garantir a conformidade legal, a transparência na gestão do patrimônio público e a harmonia com os interesses coletivos.

Nas concessões de infraestrutura, em particular, a atuação conjunta com órgãos reguladores torna-se indispensável, pois o desempenho das OAEs impacta diretamente indicadores contratuais, níveis de serviço e obrigações legais perante o poder concedente.

Além disso, a ampla inserção territorial das OAEs, frequentemente atravessando áreas urbanas, zonas rurais, áreas ambientalmente sensíveis e faixas de domínio extensas, demanda uma atuação institucional contínua, antecipando conflitos, promovendo diálogo e garantindo que as ações técnicas estejam alinhadas com as demandas sociais e regulatórias.

A atuação junto a órgãos reguladores e áreas de interface não é apenas uma obrigação institucional, mas um vetor estratégico que:

- Amplia a segurança operacional;
- Reforça a transparência e a legitimidade da gestão;
- Previne conflitos e paralisações;
- Melhora a eficiência no ciclo de vida dos ativos;
- Alinha a gestão técnica às expectativas da sociedade.

A gestão de OAEs deve ser integrada, transparente e orientada ao interesse público, princípios que fortalecem a infraestrutura e contribuem para a segurança e mobilidade da população.

15.1. Conformidade regulatória e contratual

A conformidade com leis, normas técnicas e requisitos regulatórios é um componente obrigatório na gestão moderna de OAEs. Nos contratos de concessão, essa conformidade está diretamente associada ao cumprimento de:

- Níveis de serviço e indicadores de desempenho;
- Padrões de segurança e manutenção;
- Prazos e metas estipulados em contratos regulatórios;
- Procedimentos e metodologias validadas por auditorias técnicas do poder concedente.

A não conformidade pode acarretar penalidades contratuais, riscos à segurança operacional e desgaste institucional. Por isso, a gestão de OAEs deve ser estruturada de forma a integrar requisitos técnicos, legais e operacionais dentro de um sistema coerente, auditável e rastreável.

15.2. Controle de indicadores de desempenho

A consolidação e o monitoramento de indicadores é uma ferramenta fundamental para medir a efetividade da gestão e demonstrar resultados tanto internamente quanto aos órgãos de controle. Esses indicadores podem abranger:

- Integridade estrutural (condição da OAE, evolução de deteriorações, desempenho pós-intervenções);
- Produtividade das equipes (inspeções realizadas, tempo de resposta a ocorrências, eficiência em obras);
- Custos e eficiência operacional (custo por intervenção, economia gerada com ações preventivas);
- Satisfação e segurança dos usuários;
- Cumprimento de prazos regulatórios.

Nos ativos públicos, esses indicadores ampliam a transparência e permitem melhor prestação de contas à sociedade. Nos ativos concedidos, fortalecem a governança, a previsibilidade contratual e a supervisão por parte do poder concedente.

15.3. Auditorias internas e externas

As auditorias constituem instrumentos essenciais de verificação independente, capazes de garantir:

- A conformidade dos processos de inspeção, manutenção e obras;
- O cumprimento das obrigações estabelecidas em normas, contratos e regulamentações;
- A integridade das informações técnicas e financeiras;
- A adequação da rastreabilidade e dos controles internos.

As auditorias internas promovem a melhoria contínua e fortalecem a governança das equipes técnicas. As auditorias externas, realizadas por órgãos reguladores, agências governamentais ou empresas de certificação, agregam credibilidade e reduzem riscos institucionais. A sinergia entre auditorias internas e externas reforça a solidez dos processos e a transparência da gestão.

15.4. Relações institucionais e áreas de interface

As OAEs, ao integrarem sistemas de transporte, interagem com diversos agentes públicos e privados. Entre esses interlocutores estão:

- Prefeituras e órgãos municipais;
- Entidades ambientais e de patrimônio histórico;
- Concessionárias de serviços públicos;
- Comunidades locais e associações de moradores;
- Departamentos municipais, estaduais e federais;
- Proprietários de áreas vizinhas e confrontantes.

A gestão adequada dessas relações exige postura técnica, transparente e colaborativa, sempre orientada pelo interesse público, que deve prevalecer sobre interesses particulares.

Essa interação institucional é essencial para obtenção de autorizações, mitigação de conflitos, planejamento de obras e comunicação com a sociedade, especialmente em situações de restrições operacionais ou emergenciais.

15.5. Questões jurídicas e conflitos de faixa de domínio

Devido à extensão das faixas de domínio e à diversidade de contextos territoriais, é comum que questões jurídicas interfiram no planejamento e execução de intervenções. Entre os principais temas recorrentes estão:

- Ocupações irregulares em faixa de domínio;
- Servidões administrativas e conflitos de propriedade;
- Interferências com redes de energia, telecomunicação e saneamento;
- Demandas judiciais de moradores e empresas confrontantes;
- Atos administrativos de embargo ou paralisação de obras.

A gestão eficiente dessas situações requer assessoramento jurídico especializado, atuação integrada com órgãos reguladores e postura firme quanto ao cumprimento das normas públicas. Em qualquer circunstância, o interesse público e a segurança dos usuários devem prevalecer sobre disputas individuais, conforme previsto em legislação e contratos de concessão.

16. PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

A modernização da gestão de OAEs passa inevitavelmente pela incorporação contínua de novas tecnologias, pela realização de estudos especializados e pelo estímulo a iniciativas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P&D ou PD&I). O avanço das metodologias de inspeção, diagnóstico, modelagem e acompanhamento do comportamento estrutural cria oportunidades concretas para melhorar tanto a precisão técnica quanto a eficiência operacional, contribuindo para a confiabilidade e o desempenho do sistema de transportes.

A adoção sistemática de inovação não deve ser vista apenas como uma boa prática, mas como uma necessidade estratégica. A complexidade crescente da infraestrutura, os novos materiais, a maior exigência de desempenho e a evolução das normas nacionais e internacionais exigem que os gestores mantenham processos de prospecção ativa e implementação de soluções tecnológicas emergentes.

A prospecção e implementação de novas tecnologias constituem pilares fundamentais de uma gestão moderna, eficiente e orientada ao ciclo de vida das OAEs. Ferramentas como novos ensaios, robótica, BIM e gêmeos digitais, aliadas a políticas de financiamento de P&D como o RDT, permitem que gestores transformem desafios históricos em oportunidades de inovação.

Ao incorporar esses avanços, as organizações fortalecem sua capacidade de assegurar:

- maior segurança aos usuários;
- maior disponibilidade e desempenho operacional;
- menor custo de ciclo de vida;
- maior aderência às melhores práticas mundiais.

16.1. Incentivo à pesquisa e desenvolvimento

Nos contratos de concessão, o dispositivo de Recursos para Desenvolvimento Tecnológico (RDT) é um importante mecanismo de fomento à inovação, ao destinar parte da receita da

concessionária à execução de projetos de pesquisa aplicada que, concluídos, passam a ser de domínio público. Esse instrumento viabiliza o desenvolvimento de soluções para desafios recorrentes da infraestrutura, a validação de novos métodos de inspeção e ensaios, a adaptação de tecnologias internacionais ao contexto brasileiro e a aproximação entre ambiente acadêmico e a realidade operacional.

Além dos mecanismos contratuais existentes nas concessões, o ordenamento jurídico brasileiro também prevê instrumentos de incentivo à inovação por meio de políticas públicas de estímulo à pesquisa e ao desenvolvimento tecnológico. Destaca-se a Lei nº 11.196/2005, conhecida como Lei do Bem, que estabelece benefícios fiscais para empresas que realizam investimentos em atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica. Esse mecanismo permite que empresas deduzam parte dos investimentos em P&D da base de cálculo do imposto de renda e da contribuição social, criando condições favoráveis para que concessionárias, empresas de engenharia, consultorias e fornecedores tecnológicos ampliem seus investimentos em soluções inovadoras aplicadas à infraestrutura de transportes e à gestão de ativos.

Contudo, as iniciativas de inovação não devem se restringir ao RDT ou às concessões privadas. A melhoria contínua da gestão de OAEs no Brasil exige que entidades públicas também sejam motivadas e estruturadas para desenvolver, financiar e implementar projetos de P&D, seja por meio de fundos próprios, parcerias com centros de pesquisa, programas governamentais, cooperação com universidades, uso de recursos de organismos internacionais ou por meio da celebração de Acordos de Cooperação Técnica com entidades e associações técnicas, voltadas ao desenvolvimento de estudos, pesquisas aplicadas e à evolução da normatização técnica do setor.

A modernização tecnológica do setor deve ser tratada como política de Estado, e não apenas como ação isolada de concessionárias. Quando órgãos públicos investem em inovação, criando metodologias próprias, modernizando sistemas de inspeção, testando novos ensaios ou desenvolvendo plataformas digitais, os benefícios se propagam por toda a malha viária e ferroviária nacional, ampliando o impacto positivo sobre a confiabilidade, a durabilidade e a eficiência operacional.

Expandir o ecossistema de P&D, envolvendo tanto setor privado quanto setor público, fortalece a capacidade do país de enfrentar problemas estruturais históricos, reduz dependências tecnológicas externas e promove uma gestão mais inteligente e sustentável das OAEs.

16.2. Novos ensaios e métodos avançados de avaliação estrutural

O avanço tecnológico aplicado à engenharia estrutural tem ampliado significativamente o conjunto de ferramentas disponíveis para avaliação do desempenho das OAEs. Ensaios antes considerados complexos, de difícil aplicação ou restritos ao ambiente acadêmico vêm se tornando mais acessíveis e operacionais, permitindo diagnósticos mais precisos e intervenções mais eficientes.

Nesse contexto, é fundamental que gestores e equipes técnicas permaneçam atentos às inovações em ensaios e metodologias de investigação, incluindo técnicas avançadas de ensaios não destrutivos (END), monitoramento de integridade estrutural, caracterização de mate-

riais, diagnóstico de danos, avaliação dinâmica, entre outras abordagens capazes de ampliar a compreensão sobre o comportamento das estruturas.

Muitas dessas tecnologias ainda não estão plenamente normatizadas no Brasil, mas já são amplamente estudadas e aplicadas em outros países com alto nível de maturidade na gestão de infraestrutura. Por isso, torna-se essencial promover *benchmarking* técnico internacional, buscando referências em mercados mais avançados para acelerar o desenvolvimento nacional. Países que investem continuamente em pesquisa aplicada, padronização de ensaios e inovação em monitoramento estruturado oferecem conhecimento valioso que pode ser adaptado ao contexto brasileiro.

O uso dessas metodologias contribui diretamente para:

- aumentar a confiabilidade das avaliações estruturais;
- reduzir incertezas associadas à vida útil e ao comportamento em serviço;
- melhorar a precisão dos modelos teóricos;
- embasar decisões de manutenção com maior robustez técnica;
- otimizar recursos ao identificar de forma mais clara as reais necessidades de intervenção.

Estimular a adoção, avaliação e validação de novos ensaios fortalece o ecossistema de inovação em OAEs e abre caminho para uma gestão mais moderna, preventiva e orientada por dados, alinhada com as melhores práticas internacionais.

16.3. Utilização de drones aéreos na inspeção de OAEs

A utilização de drones aéreos em inspeções de OAEs já deixou de ser considerada uma inovação emergente para se tornar uma ferramenta amplamente difundida no mercado. A popularização desses equipamentos, impulsionada pela redução de custos, facilidade de aquisição, variedade de modelos disponíveis e crescente familiaridade dos profissionais com sua operação, consolidou o drone como um recurso padrão em diversas atividades de engenharia e manutenção.

Entretanto, embora o uso básico de drones já esteja incorporado às práticas correntes, as inovações associadas ao seu desempenho, autonomia e aplicação continuam em rápida evolução. Os avanços recentes têm permitido ampliar de forma significativa as possibilidades de utilização, com destaque para:

- Câmeras de alta resolução, capazes de identificar fissuras, armaduras expostas, corrosão e outros danos com elevado nível de detalhamento;
- Sensores multiespectrais, térmicos e LiDAR, que permitem análises complementares, como detecção de vazios, avaliação de degradação por umidade e geração de modelos tridimensionais;
- Processamento automatizado de imagens, utilizando algoritmos de Inteligência Artificial e visão computacional para identificação automática de anomalias, classificação de danos e comparação temporal de imagens;
- Mapeamento 3D e fotogrametria, possibilitando a criação de modelos digitais integráveis a plataformas BIM e a gêmeos digitais, favorecendo análises de deformações, deslocamentos e evolução de danos.

Essas melhorias ampliam a eficiência, segurança e abrangência das inspeções, especialmente em áreas de difícil acesso, em obras com geometria complexa, em locais com restrições de tráfego ou em situações que demandam rápidas respostas, como emergências ou verificações após eventos extremos.

Além disso, a utilização de drones contribui para:

- reduzir a necessidade de andaimes, acessos por corda e demais equipamentos de acesso;
- minimizar riscos ocupacionais, principalmente em altura ou sobre corpos d'água;
- diminuir custos operacionais;
- gerar registros digitais completos, de alta rastreabilidade e facilmente auditáveis.

Para sua aplicação, é imprescindível atender às regulamentações nacionais vigentes, incluindo:

- regras operacionais e requisitos definidos pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil);
- diretrizes do DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo);
- normas municipais ou estaduais que possam restringir operações em determinadas áreas.

A conformidade regulatória garante a segurança operacional, a rastreabilidade das operações e evita sanções administrativas.

16.4. Inspeções submersas com veículos robóticos

As inspeções submersas representam um dos pontos críticos na gestão de OAEs, especialmente em pontes localizadas sobre rios, mares, reservatórios e canais. Tradicionalmente executadas por mergulhadores, essas atividades envolvem riscos elevados, alto custo e dependência de janelas operacionais favoráveis.

A introdução de robôs subaquáticos (ROVs) tem transformado esse cenário. Entre os principais benefícios estão:

- Redução significativa do risco associado ao mergulho;
- Aumento da segurança operacional;
- Menor custo por inspeção, permitindo ampliar a frequência e abrangência das atividades;
- Geração de registros digitalizados com maior precisão;
- Possibilidade de acesso a áreas de difícil ou perigoso alcance para mergulhadores.

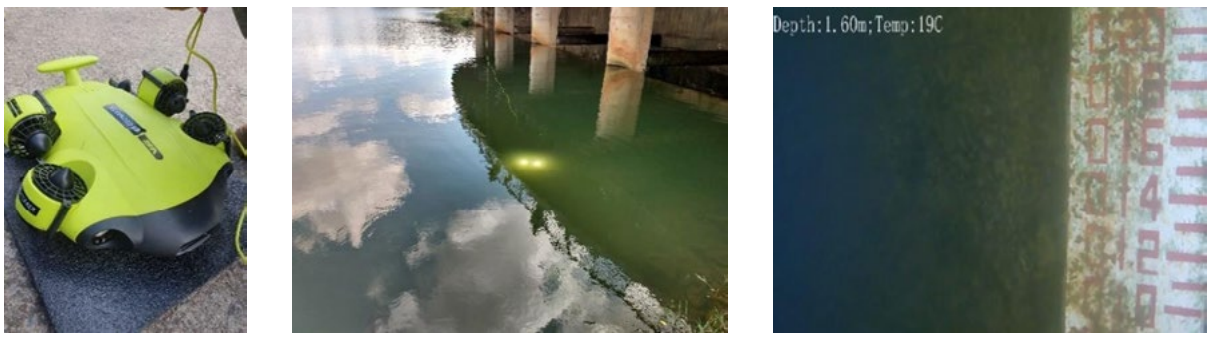

Figura 8: Inspeção de infraestrutura utilizando ROV (Neto et al., 2025)

Caso o uso de robôs seja inviável ou os resultados não sejam conclusivos, a inspeção tradicional com mergulhadores permanece como alternativa. Porém, o uso intensivo de ROVs permite concentrar esforços humanos apenas nos casos realmente necessários.

16.5. Modelagem BIM na gestão de OAEs

A adoção do Building Information Modeling (BIM) no setor de infraestrutura tem avançado progressivamente no Brasil, impulsionada tanto por legislações federais, como a Estratégia BIM BR, quanto por normas técnicas nacionais.

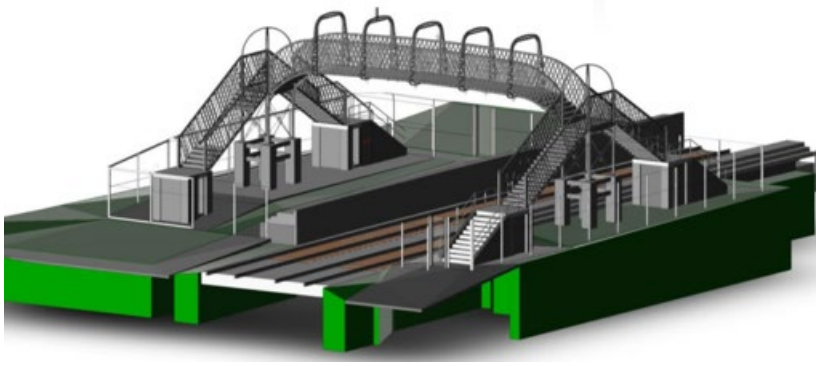

Figura 9: Passarela de pedestres modelada em BIM (Fonte: autor)

Os benefícios do BIM na etapa de operação e manutenção (O&M) de ativos de engenharia, como as OAEs, incluem:

- Centralização de informações geométricas e não geométricas: com o BIM é possível unificar dados 3D da estrutura com registros históricos, resultados de ensaios, inspeções, sensores e intervenções anteriores, o que facilita a gestão de ativos.
- Controle de versões e rastreabilidade completa: as alterações no modelo, seja por reparo, reforço ou atualização, podem ser documentadas diretamente no modelo BIM, garantindo histórico preciso ao longo do ciclo de vida. Essa centralização dos dados permitida pelo BIM é essencial para tomar decisões com base no estado real da estrutura.
- Simulações e previsões: a integração de modelos BIM com gêmeos digitais e dados de sensores possibilita simular cenários de deterioração estrutural, prever a vida útil remanescente dos elementos e planejar intervenções com antecedência.
- Redução de erros e omissões: ao centralizar as informações e permitir manutenção de dados consistentes, o uso de BIM reduz divergências entre projeto, inspeção e manutenção, por exemplo, evitando que dados de inspeção fiquem apenas em relatórios manuais.
- Comunicação mais eficaz entre equipes: arquitetos, engenheiros, inspetores, gestores de manutenção e operacionais podem trabalhar com um modelo comum, colaborando em um *common data environment* (CDE).
- Decisões mais rápidas e fundamentadas: quando o BIM é conectado a bancos de dados de inspeção, matrizes de priorização ou sensores IoT, ele se torna uma plataforma poderosa para monitoramento, diagnósticos de saúde estrutural e suporte a decisões de manutenção preditiva ou baseada em condição.

O BIM, quando integrado a modelos de análise, sensores e bancos de dados de inspeção, torna-se uma plataforma poderosa para decisões mais rápidas, precisas e fundamentadas.

16.6. Gêmeos digitais de OAEs

Os *Digital Twins* (gêmeos digitais) representam uma das tecnologias mais promissoras para o futuro da infraestrutura, especialmente para a operação e manutenção de OAEs. Eles combinam diversas funcionalidades para oferecer uma réplica digital dinâmica dos ativos físicos:

- Modelos BIM detalhados: o modelo digital parte da base BIM, capturando geometria, propriedades dos materiais, elementos estruturais e metadados, criando um modelo rico e informatizado;
- Monitoramento contínuo por sensores: sensores IoT como acelerômetros triaxiais, amplamente utilizados em estruturas de concreto, *strain gauges,* comumente adicionados em estruturas em aço, além de outros tipos de instrumentos eventualmente utilizados, como fibras vibrantes e sensores ópticos, são instalados na estrutura para captar dados em tempo real. Esses dados são transmitidos para o gêmeo digital, que os assimila para refletir o estado atual da estrutura;
- Dados de inspeções: relatórios de inspeção, imagens de fissuras, medições de dano, histórico de intervenções e anomalias são incorporados ao modelo digital, permitindo rastrear a evolução ao longo do tempo;
- Modelos preditivos de dano e degradação: por meio de análise de dados históricos e de sensores, o gêmeo digital pode usar modelos preditivos para antecipar a deterioração estrutural, por exemplo, estimando a propagação de fissuras ou a evolução das anomalias;
- Inteligência artificial para correlação de dados: técnicas de aprendizado de máquina e algoritmos (como redes neurais, redes bayesianas, entre outras) são usadas para correlacionar os dados sensoriais, os modelos físicos e os relatórios de inspeção, identificando padrões, anomalias e previsões mais precisas.

O resultado dessa combinação é uma réplica digital dinâmica da estrutura, atualizada em tempo real e capaz de prever, com base nos dados coletados:

1. Tendências de deterioração: o gêmeo digital pode mostrar como e onde o dano tende a se desenvolver com o tempo, com base em medições sensoriais e modelos preditivos;
2. Mudanças de comportamento estrutural: ele pode detectar alterações no comportamento dinâmico (por exemplo, modos de vibração, amortecimento), indicando problemas emergentes antes que se agravem;
3. Impactos de cargas e eventos extremos: por meio de simulações no modelo digital, é possível avaliar como a estrutura responderia a diferentes cenários, como sobrecarga, tráfego intenso ou eventos climáticos extremos;
4. Necessidades futuras de intervenção: com base nas previsões, o sistema pode sugerir planos de manutenção preditiva, priorizando ações em que elas serão mais efetivas para prolongar a vida útil da estrutura.

Essa abordagem transforma radicalmente a gestão de OAEs, permitindo migrar de um modelo reativo (intervenções apenas após falhas ou inspeções) para um modelo predominantemente preditivo, o que traz vários ganhos:

- Maior eficiência nos investimentos de manutenção: ao priorizar ações em que realmente são necessárias, evita-se gasto excessivo com reparos desnecessários ou emergenciais. Es-

tudos sistemáticos apontam que gêmeos digitais podem otimizar o uso de recursos por meio da previsão de defeitos e planejamento inteligente;

- Maior confiabilidade operacional: o gêmeo digital proporciona o conhecimento em tempo real da OAE o que faz com que as intervenções sejam baseadas em dados, reduzindo riscos para usuários e operadores;
- Tomada de decisão baseada em dados: gestores podem decidir intervenções, alocar orçamento e planejar fiscalizações de forma mais informada, apoiados por dashboards, simulações e alertas gerados pelo próprio gêmeo digital.

Além disso, relatórios técnicos nacionais já reconhecem a relevância dessa abordagem: por exemplo, no "Estado da Arte em Gestão de Pontes – Modelos Digitais" do DNIT, são citados sistemas de gêmeos digitais baseados em visão computacional, IA e monitoramento contínuo para apoiar a manutenção preventiva e o planejamento de ciclo de vida.

Em resumo, a Figura 10 apresenta as funcionalidades de uma implementação plena em OAEs:

Figura 10: Funcionalidades dos gêmeos digitais para plena implementação em OAEs (adaptado de GORKOS, LAZZARI, FILHO, 2024)

A seguir apresenta-se um diagrama que sintetiza a integração entre inspeções, monitoramento, análise computacional e tecnologias emergentes dentro de um ecossistema digital orientado ao uso de gêmeos digitais para gestão de pontes.

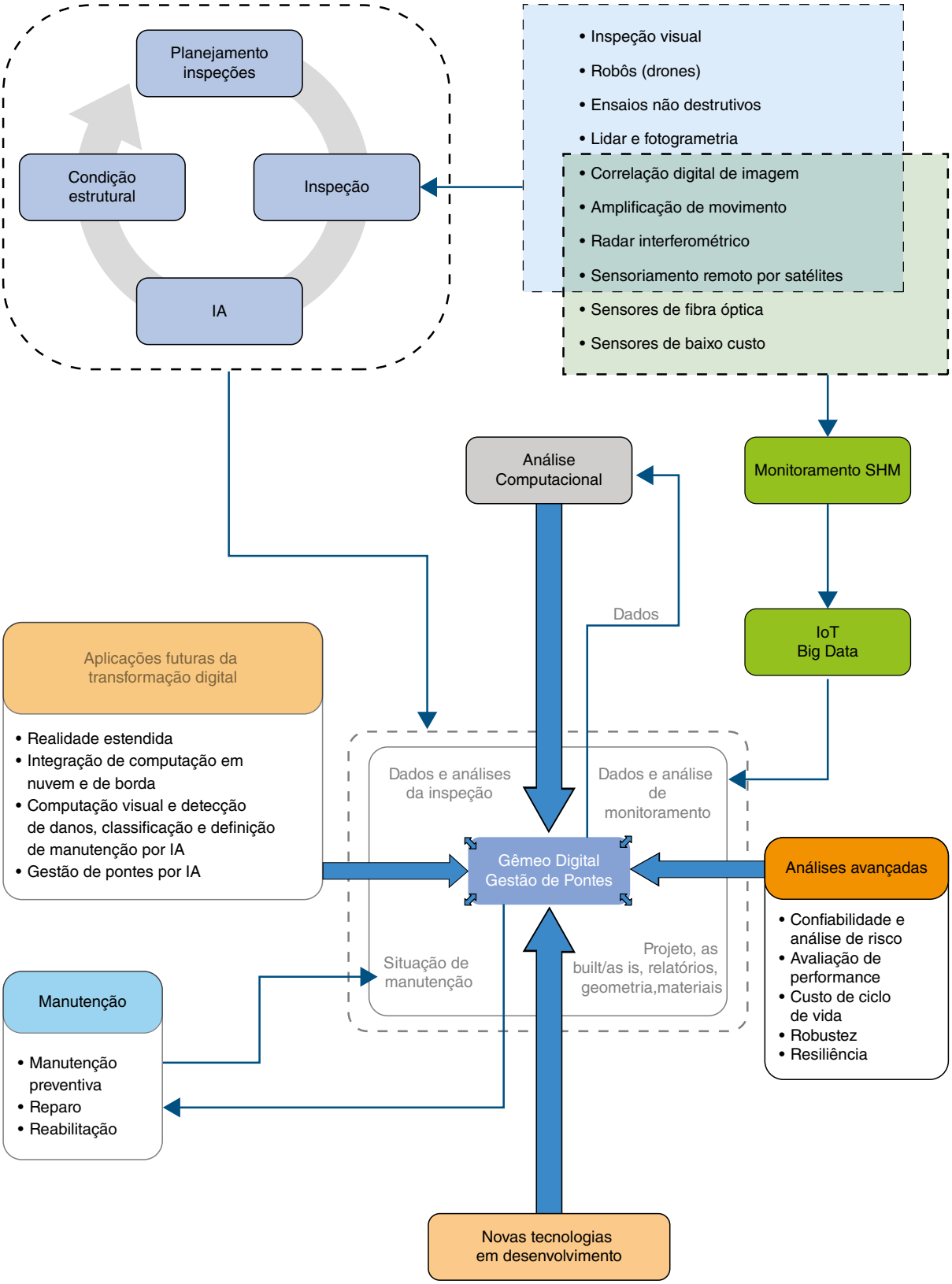

Figura 11: Organograma dos avanços tecnológicos para a gestão de pontes com gêmeos digitais. Fonte: DNIT, 2025 apud Futai et al., 2022.

O esquema ilustra como diferentes fontes de dados, incluindo inspeções tradicionais e avançadas, sensores SHM, modelos BIM, análises estruturais e algoritmos de inteligência artificial convergem para alimentar um modelo digital continuamente atualizado. Esse fluxo integrado possibilita uma abordagem sistêmica, na qual planejamento, diagnóstico, prognóstico e ações de manutenção passam a ocorrer de forma coordenada, apoiados por informações em tempo real e por análises preditivas. Dessa forma, o diagrama contextualiza o papel central do gêmeo digital como núcleo da transformação digital na gestão de OAEs.

17. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente Recomendação Técnica foi elaborada com o objetivo de consolidar diretrizes e boas práticas para orientar gestores públicos e privados na implementação de modelos modernos, eficientes e estruturados de gestão de Obras de Arte Especiais (OAEs). Este documento abordou temas essenciais para a gestão dessas estruturas, incluindo concepção estrutural, inspeção e monitoramento, avaliação de integridade, gestão de riscos, planejamento de manutenção, execução de intervenções, governança contratual, capacitação técnica e inovação tecnológica.

A gestão adequada das OAEs constitui um dos pilares fundamentais para a segurança, a confiabilidade e a sustentabilidade dos sistemas de transporte. Pontes, viadutos e passarelas são ativos estratégicos cuja falha pode gerar impactos operacionais, econômicos e sociais relevantes. É indispensável que a gestão dessas estruturas seja conduzida com base em princípios técnicos sólidos, processos estruturados e decisões fundamentadas em dados, análises de risco e critérios objetivos de priorização.

Uma gestão eficiente das OAEs desempenha papel decisivo na redução dos custos totais ao longo do ciclo de vida das estruturas. A adoção de práticas de manutenção planejada, intervenções preventivas e decisões orientadas por risco contribui para evitar deteriorações avançadas, reduzir, ou mesmo eliminar, a ocorrência de intervenções emergenciais e minimizar custos associados a interrupções operacionais, reconstruções ou perdas de desempenho estrutural. Investir em uma gestão estruturada não representa apenas um requisito de segurança, mas também uma estratégia racional para a sustentabilidade econômica dos ativos de infraestrutura.

Outro aspecto fundamental é o fortalecimento da cultura de gestão de ativos nas organizações responsáveis pela infraestrutura. A integração entre pessoas qualificadas, processos bem definidos e gestão sistemática do conhecimento cria as condições necessárias para a melhoria contínua, para a incorporação de novas tecnologias e para o avanço das práticas de engenharia aplicadas à gestão da infraestrutura no país.

Cabe destacar que este documento não pretende esgotar o tema da gestão de OAEs, mas estabelecer um referencial técnico que possa evoluir ao longo do tempo. O avanço das tecnologias de monitoramento, modelagem e digitalização, bem como o desenvolvimento contínuo de metodologias de gestão de ativos, indicam que esse campo permanecerá em constante evolução. Recomenda-se que as diretrizes aqui apresentadas sejam periodicamente revisadas e aprimoradas, incorporando novas experiências práticas, resultados de pesquisas, avanços normativos e lições aprendidas na gestão das estruturas existentes.

Espera-se, por fim, que essa Recomendação Técnica contribua para o aprimoramento da gestão das Obras de Arte Especiais brasileiras, fortalecendo a engenharia nacional e incentivan-

do a adoção de práticas cada vez mais estruturadas, transparentes e baseadas em evidências. A implementação de processos organizados de gestão de ativos tem o potencial de elevar os níveis de desempenho e a confiabilidade das estruturas, ampliar a segurança dos usuários das infraestruturas de transporte e otimizar a alocação de recursos. Dessa forma, busca-se promover uma abordagem de gestão preventiva, eficiente e orientada ao desempenho, contribuindo para a durabilidade das estruturas e para a sustentabilidade da infraestrutura de transportes no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC). **Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil – Estratégia BIM BR**. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/building-information-modelling-bim. Acesso em: 23 nov. 2025.

FIB. **Model code 2010**. Bulletin 55. ed. Lausanne, Switzerland: International Federation for Structural Concrete, v. 1, 2010.

FUTAI, M.; MACHADO, L.; SANTOS, R.; PONCETTI, B.; BITTENCOURT, T.; GAMINO, A. **Digital Twins for Condition Assessment of Railway Infrastructures**. Digital Innovations in Architecture, Engineering and Construction, [S.L.], p. 157–176, 2024.

GORKOS, P.; LAZZARI, P. M.; FILHO, L. C. P. S. Gêmeos digitais de pontes: Tendências, funcionalidades e desafios. IV Seminário Sul Brasileiro de Pontes e Estruturas, ID 017, Porto Alegra, 2024.

JUNQUEIRA, J. F. A.; ARAGÃO FILHO, L. A. C. M.; LOPES, L. A. S.; RODRIGUES, J. F. S. **Procedimento para avaliação teórica e experimental de pontes ferroviárias**. Volume 9. Número 1 (Abril/2020). P. 81-100 – ISSN 2238-9377

PARRA, C. A. **Technical report: Review of the basic process of a Maintenance and Reliability Management Model. Project: Design and Construction of the Third Set of Locks in the ACP (Autoridad Del Canal de Panamá)**. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Life-cycle-cost-analysis_fig3_343678170. Acesso em: 31 jan. 2026.

Manifesto pela Segurança e Manutenção das Pontes Brasileiras. Disponível em: https://site.abece.com.br/wp-content/uploads/2025/02/MANIFESTO-PELA-SEGURANCA-E-MANUTENCAO-DAS-PONTES-BRASILEIRAS.pdf. Acesso em: 15 mar. 2026.

Ministério dos Transportes. **Levantamento de Impactos e Riscos Climáticos sobre a Infraestrutura Federal de Transporte Terrestres (Rodoviário e Ferroviário) Existente e Projetada – Sumário Executivo**. Disponível em: https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/sustentabilidade/Sumario_Executivo_ADAPTAVIAS.pdf. Acesso em: 15 mar. 2026.

NETO, J. K.; JUNQUEIRA, J.; FINGER, D.; OLIVEIRA, G. S**. Inspeções subaquáticas de pontes ferroviárias utilizando veículos operados remotamente**. XVI Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, ID 039, Rio de Janeiro, 2025.

SANTOS, A. BONATTE, M. WU, J. SOUSA, H. BITTENCOURT, T. MATOS, J. **Panorama Geral das Pontes Rodoviárias Brasileiras.** Anais do 65º Congresso Brasileiro do Concreto, 2024. ISSN 2175-8182.

AUTORES DESTE DOCUMENTO E MEMBROS DO COMITÊ TÉCNICO:

Coordenação/Autoria:
João Francisco Alves Junqueira

Comissão de coautoria e desenvolvimento:
Ademir Ferreira dos Santos
Pâmela Souza da Silva
Paulo de Tarso Cronemberger Mendes
Ricardo Borges Kerr
Vinicius Ippolito

Comissão de revisão:
Guilherme Aris Parsekian
Iberê Martins da Silva
Zacarias Martin Chamberlain Pravia

ISBN: 978-85-69755-05-0
CBL
9 788569 755050

Realização

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL
ABECE

ABPE
Associação Brasileira de Pontes e Estruturas

ALCONPAT BRASIL

IBRACON

Apoio

IABMAS BRAZIL
INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR BRIDGE MAINTENANCE AND SAFETY