



## **Inspeções subaquáticas de pontes ferroviárias utilizando veículos operados remotamente**

**Jayme Kneip Neto<sup>1</sup>, João Junqueira<sup>2</sup>, Douglas Finger<sup>3</sup>, Guilherme Silva de Oliveira<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>MRS Logística / Gerência de Infraestrutura / jayme.neto@mrs.com.br

<sup>2</sup>MRS Logística / Gerência de Infraestrutura / joao.junqueira@mrs.com.br

<sup>3</sup>Finger Engenheiros Associados / douglas.finger@mrs.com.br

<sup>4</sup>Finger Engenheiros Associados / guilherme.oliveira@fingerengenheiros.com.br

### **Resumo**

O estabelecimento de políticas ideais de inspeção e avaliação de pontes existentes é fundamental para o conhecimento do desempenho e a definição de adequadas estratégias de manutenção. No Brasil, a ABNT NBR 9452:2023 estabelece os requisitos para a realização de inspeções em pontes, viadutos e passarelas, incluindo as atividades de inspeção subaquática, consideradas como parte integrante das inspeções especiais, com o objetivo de classificar a condição dos elementos submersos. A aplicação desta orientação normativa tem se tornado um desafio para as concessionárias ferroviárias, visto que as atividades de mergulho profissional apresentam grau de risco elevado, exigindo uma rigorosa gestão da segurança do trabalho para prevenir acidentes e doenças ocupacionais. Para que os riscos sejam mitigados, faz-se necessário realizar um amplo planejamento da atividade e adotar uma série de medidas de prevenção e proteção, o que torna a campanha de inspeção especial custosa e pode inviabilizar esse tipo de serviço. Como alternativa à utilização de mergulhadores, os ROVs (Veículos Operados Remotamente), equipamentos submersíveis controlados à distância por um operador humano, vem sendo empregados nas atividades de inspeção especial. Eles são equipados com câmeras de vídeo, sensores e luzes que permitem realizar, com segurança, a inspeção de elementos submersos, oferecendo uma alternativa eficiente para a gestão de grandes carteiras de ativos de infraestrutura. A sua utilização, porém, apresenta uma série de limitações intrínsecas ao meio e às especificações dos equipamentos. Neste artigo, são apresentadas as estratégias adotadas, as experiências e as lições aprendidas por uma operadora ferroviária com a utilização desse recurso no seu programa de inspeções. Ao final da campanha, a solução mostrou-se tecnicamente eficiente na maioria dos ativos em que foi experimentada, representando um ganho substancial em termos de redução de custos e da exposição ao risco, garantindo a adequada avaliação da condição dos elementos submersos das pontes ferroviárias.

### **Palavras-chave**

Pontes ferroviárias; Inspeções especiais; Inspeções submersas; Veículos remotamente operados.

### **1. Introdução**

As obras de arte especiais desempenham um papel fundamental nas operações logísticas ferroviárias brasileiras, pois viabilizam o transporte de cargas pesadas em regiões de topografia acidentada e sobre cursos d'água, permitindo a continuidade do trajeto e a conectividade entre minas, siderúrgicas, terminais multimodais e portos.

A confiabilidade destes ativos é essencial para assegurar a segurança e a eficiência da circulação ferroviária. Neste contexto, a estratégia do plano de gestão das operadoras ferroviárias brasileiras prevê a realização de manutenções anuais nas pontes e viadutos, conforme a priorização estabelecida pelo corpo técnico da companhia. Esse desafio envolve o aprimoramento das ferramentas de diagnóstico e prognóstico das estruturas, com o objetivo de identificar soluções tecnicamente viáveis que possibilitem intervenções mais ágeis e econômicas.

Como parte desse plano de gestão, as obras de arte especiais ferroviárias são submetidas a inspeções especiais, conforme a norma ABNT NBR 9452:2023 Inspeção de pontes, viadutos e passarelas – Procedimento. A aplicação dessa norma permite classificar as estruturas com base em critérios estruturais, funcionais e de durabilidade.

As inspeções especiais de pontes incluem atividades de inspeção subaquática, cujo objetivo é a avaliação dos elementos submersos. No entanto, a execução desse escopo apresenta desafios significativos, uma vez que o mergulho profissional envolve riscos elevados e demanda rígidos protocolos de segurança para prevenir acidentes e doenças ocupacionais. O planejamento minucioso e a adoção de medidas preventivas elevam os custos das campanhas de inspeção, podendo inviabilizar esse tipo de serviço.



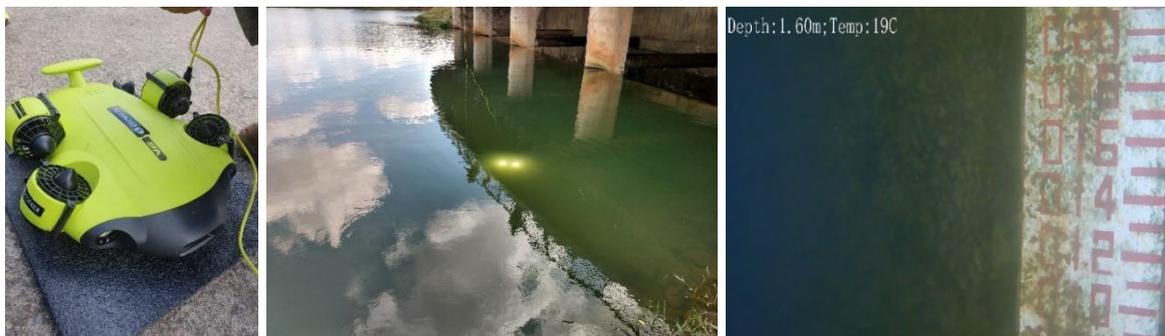
**Figuras 1 a 3 – Inspeção de ponte utilizando mergulhadores profissionais (acervo do autor)**

Este artigo aborda o uso de ROVs (Remotely Operated Underwater Vehicle) como alternativa complementar ou substitutiva ao mergulho profissional na inspeção de elementos submersos de pontes. A adoção dessa tecnologia visa reduzir custos operacionais e minimizar a exposição a riscos, garantindo a qualidade técnica das inspeções e contribuindo para a segurança e eficiência da operação ferroviária.

## 2. Metodologia

As inspeções subaquáticas têm o objetivo de coletar informações sobre os elementos estruturais que não podem ser observados acima da superfície do curso d'água. Para este tipo de inspeção, além do uso de equipes formadas por mergulhadores profissionais, poderão ser utilizados equipamentos operados remotamente, que permitem a captação e análise de imagens para o mapeamento de elementos, a verificação da integridade e a avaliação das condições de durabilidade da obra.

Um ROV pode ser empregado para este fim. Essa solução possibilita a redução da exposição de mergulhadores a ambientes de risco, a diminuição dos custos no processo de inspeções especiais e uma maior abrangência na amostragem de elementos inspecionados.



**Figuras 4 a 6 – Inspeção de infraestrutura utilizando ROV (acervo do autor)**

### 2.1 Aspectos a serem considerados na etapa de planejamento da campanha de inspeção

Para garantir o sucesso da campanha de inspeção é fundamental considerar aspectos operacionais e gerenciais já na fase de planejamento, conforme detalhado a seguir:

#### **a. A avaliação técnica preliminar:**

Diversos fatores técnicos e ambientais influenciam a viabilidade da operação e a qualidade das inspeções realizadas com esses equipamentos. Inicialmente, é necessário determinar os requisitos e as premissas para a realização da inspeção, conforme listado abaixo:

- O objetivo da inspeção, que pode incluir o reconhecimento da calha do curso d'água, a identificação de interferências, o mapeamento dos elementos estruturais para elaboração de projeto as-built, o mapeamento detalhado de danos, entre outras aplicações;
- O nível de qualidade desejado para as imagens e precisão dos dados obtidos, como as dimensões de um elemento ou a posição em planta e profundidade de um dano identificado;
- As restrições intrínsecas associadas ao local da inspeção;
- Especificações do equipamento, garantindo que ele atenda ao escopo planejado para o ambiente onde o ativo está instalado.

O ROV a ser utilizado deve possuir características técnicas compatíveis com o ambiente da inspeção, garantindo estabilidade e iluminação adequadas. A baixa qualidade dos produtos da inspeção pode estar relacionada a utilização de um equipamento inadequado, a fatores externos como a presença de incrustações nos elementos estruturais, condições inadequadas do curso d'água, inabilidade do operador, entre outros.

#### **b. As restrições quanto ao meio ambiente:**

Quanto às características do local onde a inspeção será realizada, recomenda-se, sempre que possível, uma verificação prévia dos seguintes aspectos:

- Profundidade do curso d'água e do elemento exposto a ser inspecionado;
- Velocidade e regime de escoamento do curso d'água;
- Turbidez da água e disponibilidade de iluminação natural;
- Distância entre o elemento a ser inspecionado e o ponto de lançamento do equipamento;
- Presença de vegetação ou detritos que possam interferir na operação;
- Impregnação das superfícies por organismos marinhos;
- Condições insalubres que comprometam a higienização adequada do equipamento após a operação.

#### **c. A seleção do equipamento:**

Quanto às configurações do equipamento recomenda-se a avaliação dos seguintes parâmetros:

- Estrutura necessária para transporte, lançamento e operação;
- Tipo de carga útil transportada pelo equipamento, como iluminação, câmeras, sensores, radares;
- Precisão no controle de estabilidade e de posicionamento, como localização e profundidade;
- Necessidade de operação por visada direta ou indireta;
- Necessidade de operação através de cabos acoplados, como cabo guia, de energia ou de transmissão de dados;
- Tipo de fonte de energia e a autonomia das baterias;
- Distância máxima entre o equipamento e o operador;
- Profundidade limite atingida pelo equipamento;
- Capacidade de iluminação artificial;

- Qualidade da captação e transmissão das imagens;
- Capacidade do software em realizar medições direta ou indiretamente.

Provas de conceito ou amostras de inspeções realizadas com o equipamento são recomendadas para validar previamente sua adequação. Além disso, recomenda-se a consulta a especialistas para auxiliar na escolha do modelo mais adequado.

#### **d. A decisão entre a aquisição do equipamento e a contratação da inspeção:**

A implementação da tecnologia nos programas de inspeção pode ocorrer de diferentes formas. A operadora pode optar por adquirir o equipamento e realizar as inspeções internamente ou contratar o serviço por meio de empresas especializadas.

A seguir, destacam-se alguns aspectos que devem ser avaliados na escolha da melhor estratégia para a companhia:

- Demanda pelo uso do recurso: número de ativos e frequência das inspeções subaquáticas;
- Custos de aquisição e manutenção do equipamento;
- Infraestrutura mínima necessária para a operação;
- Vida útil do equipamento;
- Necessidade de treinamento e qualificação da equipe para operação;
- Risco de perda material durante as atividades de inspeção.

#### **e. A coleta de dados durante a inspeção:**

Se o objetivo da inspeção for o mapeamento de danos para elaboração de um parecer técnico, os principais aspectos a serem observados incluem, mas não se limitam a:

- Degradação superficial ou profunda dos elementos de concreto armado, como desagregação, disgregação, segregação, erosão, cavitação, lixiviação, exposição de armaduras, perda de seção nas armaduras, deformações ou rupturas;
- Corrosão, perda de seção e desvios geométricos em elementos de aço;
- Danos por erosão nos apoios, como recalques, desalinhamentos, deslocamentos, perda de confinamento, formação de vórtices ou fossas de erosão;
- Impactos por abalroamento de embarcações ou detritos;
- Reflexos da falha de elementos submersos nos componentes expostos da meso e superestrutura;
- Acúmulo de sedimentos ou outros materiais conduzidos pelo curso d'água em elementos de apoio.

Caso sejam identificadas anomalias, é essencial registrar sua localização, profundidade e quantificação na ficha de inspeção. A equipe deve preparar e validar esse documento junto à equipe técnica de projeto antes do início das atividades de campo.



**Figuras 7 e 8 – Corrosão severa em elementos de aço de estacas. (acervo MRS Logística)**

## **f. Os aspectos relacionados a qualidade das inspeções com o ROV**

Mesmo após a análise preliminar do meio ambiente e a seleção cuidadosa do equipamento, a equipe técnica pode concluir que a qualidade da inspeção com o ROV foi inferior à necessária para atender aos objetivos específicos da vistoria. Isso ocorre porque muitas características ambientais de cursos hídricos são sazonais e podem influenciar os resultados.

Nesse caso, recomenda-se a realização de investigações adicionais com uma equipe de mergulhadores, pois esses profissionais dispõem de recursos capazes de superar adversidades técnicas que possam ter comprometido o sucesso da inspeção com o robô.

## **g. Aspectos relacionados a segurança das atividades:**

Para a realização dessa atividade, recomenda-se a mobilização de uma equipe mínima composta por dois inspetores qualificados. O inspetor responsável pela operação deve orientar o operador do ROV quanto à utilização segura do equipamento e registrar as informações no formulário de inspeção. O operador do equipamento, por sua vez, deve controlar o ROV e capturar as imagens.

Cabe ao inspetor auxiliar observar a movimentação de embarcações tripuladas na região da inspeção. A área de trabalho deve ser previamente sinalizada para que seja mantida a segurança do equipamento e do operador.

Caso seja necessário lançar o robô a partir do tabuleiro da ponte, os inspetores devem estar devidamente equipados com EPIs (Equipamentos de Proteção Individual) para trabalho em altura ou garantir a instalação de dispositivos de proteção coletiva.

Além disso, recomenda-se a criação de um procedimento operacional padronizado para garantir a segurança e a eficiência das atividades de inspeção.

## **3. Resultados e Discussão**

No ano de 2024, uma operadora ferroviária brasileira realizou 17 inspeções subaquáticas utilizando ROVs. A estratégia adotada consistiu em vistoriar inicialmente todas as 17 obras e, posteriormente, acionar a equipe de mergulho sob demanda.

Dessas inspeções, três foram complementadas por mergulhadores profissionais. O acionamento da equipe de mergulho ocorreu a partir de apontamentos feitos durante as vistorias com o robô, que, na avaliação da equipe técnica da companhia, demandaram maior aprofundamento para um diagnóstico adequado.

O uso prévio do ROV antes do acionamento dos mergulhadores resultou em uma significativa economia de recursos e uma redução de pelo menos 80% na exposição ao risco.



**Figuras 9 e 10 – O equipamento utilizado e a atividade de inspeção subaquática**  
(<https://orionsic.com.br/produtos/rovs-leves/pivot/>) (acervo Finger Engenheiros Associados)

#### **4. Conclusão**

Ao final da campanha de inspeção de elementos submersos de pontes, a utilização dos ROVs demonstrou-se tecnicamente eficiente na maioria dos ativos em que foi aplicada, representando um ganho substancial em termos de redução de custos e mitigação dos riscos associados à atividade de mergulho profissional.

Essa maior eficiência econômica possibilita a ampliação da amostragem das inspeções em elementos submersos nos programas de confiabilidade das operadoras logísticas ferroviárias, sendo um fator fundamental para a segurança da operação. Isso se torna viável por meio da adoção de recursos tecnológicos compatíveis com os objetivos específicos da atividade e da definição adequada do modelo de negócio para sua implementação.

No entanto, verificou-se que a aplicabilidade do ROV apresenta limitações, e, em algumas situações, o robô não é capaz de substituir completamente os mergulhadores.

Além disso, constatou-se que equipamentos com especificações mais avançadas exigem um maior investimento em aquisição e manutenção, além de demandarem uma estrutura operacional mais robusta para sua utilização em campo. Por outro lado, equipamentos mais acessíveis economicamente são mais vulneráveis a perdas. Em ambos os casos, a operação do ROV requer profissionais devidamente capacitados.

Por fim, conclui-se que cabe ao corpo técnico das operadoras fomentar o uso de tecnologias inovadoras nas inspeções de ativos de infraestrutura, estimulando ganhos de produtividade que promovam a redução de custos e, conseqüentemente, o aumento da confiabilidade dos ativos.

#### **5. Referências**

ABNT (2023) NBR 9452:2023. Inspeções de pontes, viadutos e passarelas – Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MRS Logística (2024). Procedimento Gerencial - Procedimento de Inspeção e Testes de OAEs - Documento confidencial MRS Logística - Juiz de Fora, Brasil.