

INOVAÇÃO DIGITAL NA GESTÃO DE ATIVOS – APRESENTAÇÃO DO PROJETO GOA.BI

Sérgio Costa¹, Vítor Brito² e Tiago Mendonça³

^{1,2,3} Betar Consultores, Lda., Av. Elias Garcia 53, Lisboa, Portugal

email: scosta@betar.pt <http://www.betar.pt>

Sumário

O artigo visa apresentar um projeto em curso, focado na manutenção de infraestruturas de transporte, nomeadamente no desenvolvimento de uma plataforma de gestão holística a ser utilizada na manutenção de estruturas de engenharia civil, tendo como ponto de partida as obras de arte. Embora os sistemas de gestão de ativos há muito recorrem a plataformas digitais, decorre uma nova vaga de digitalização, suportadas por ferramentas inovadoras que estão a permitir profundas transformações nas atividades de gestão, incluindo procedimentos no terreno. São apresentadas as principais inovações associadas ao projeto e discutidas aquelas que são as principais transformações e benefícios resultantes.

Palavras-chave: Gestão de ativos, Obras de Arte, Inovação, BrIM, Inteligência artificial, Realidade aumentada.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

As infraestruturas civis são um dos investimentos mais significativos de governos, empresas e indivíduos. Entre estes, as infraestruturas de transporte (rodovias, ferrovias, aeroportos e portos) são elementos críticos no desenvolvimento económico e social. Apoiam o bem-estar pessoal (por exemplo, benefícios devido à economia de tempo de viagem), o crescimento económico (por exemplo, tornando trocas comerciais mais fáceis e eficientes) e desempenham um papel significativo no fluxo de capital para produção e geração de riqueza. Além disso, há também contribuições indiretas das infraestruturas de transporte para o desenvolvimento económico que surge através de uma multiplicidade de canais, incluindo o investimento privado produtivo, a criação de novas atividades ou a reformulação da geografia económica. Assim, é incontornável a elevada importância destes ativos para o desenvolvimento regional, nacional e internacional, numa perspetiva social e económica. Dado o seu papel económico central, a infraestrutura de transportes é muitas vezes referida como a espinha dorsal de uma economia moderna [1].

Na maioria dos países desenvolvidos foram feitos altos investimentos no setor de transporte durante as últimas décadas do século XX e início do século XXI. Enquanto isso, a economia global entrou numa recessão económica de longo prazo desde a crise financeira de 2008. A título de exemplo, após a entrada de Portugal na União Europeia em 1986, o Quadro Comunitário de Apoio da Comunidade Económica Europeia conseguiu transformar Portugal num verdadeiro laboratório de construção. O sector dos transportes nacional foi considerado prioritário e teve melhorias significativas, principalmente na infraestrutura rodoviária, onde foi possível alcançar uma rede completa de acordo com o Plano Rodoviário Nacional, de forma a se adequar às necessidades e também promover o desenvolvimento socioeconómico exigido pela União Europeia [2]. As fortes exigências de construção levaram à implementação de soluções cujo foco estava maioritariamente associado a encontrar uma solução técnica que proporcionasse o menor custo de investimento para os diferentes ativos como pontes, viadutos, estradas, entre outros, considerando apenas as exigências funcionais. Uma avaliação económica baseada num custo de investimento inicial permitiu apoiar a tomada de decisão face às diferentes opções técnicas. Este processo resultou, em algumas situações, na construção de infraestruturas com maiores custos de manutenção.

Para reverter esta tendência, surgiu uma nova abordagem designada Análise de Custo do Ciclo de Vida, que visa encontrar uma solução ótima ponderando investimento e manutenção [3]. Apesar do endividamento português

para construir uma grande extensão de autoestradas, uma vez que os fundos comunitários não suportavam o investimento total, obrigando a um financiamento nacional parcial, estes investimentos estratégicos de desenvolvimento de infraestruturas tornaram-se fundamentais no desenvolvimento nacional. Durante a última recessão, enquanto Portugal estava em modo de recuperação, os investimentos públicos diminuíram conduzindo a um período de estagnação no investimento em infraestruturas de transporte.

Nos dias de hoje, o contínuo envelhecimento das infraestruturas de transporte nacionais suscita questões de conservação relacionadas com o estado de conservação dos ativos. O Tribunal de Contas realizou uma auditoria para avaliar a operacionalidade das infraestruturas nacionais de transportes e a conclusão é semelhante: há necessidade urgente de manutenção para melhorar os atuais níveis de qualidade. Além disso, verificou-se que as infraestruturas ferroviárias reportam mais problemas do que as infraestruturas rodoviárias [4]. Esta questão está essencialmente ligada à diferença de idade entre estas infraestruturas. A maioria das infraestruturas rodoviárias tem três a quatro décadas de idade ou menos, enquanto as infraestruturas ferroviárias são mais antigas.

No entanto, Portugal ocupa o 21º lugar no pilar “infraestrutura” entre 141 países em todo o mundo e o 8º em qualidade de infraestrutura rodoviária, muito acima da média da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) [5]. De acordo com o ranking da Comissão Europeia em Investimentos e Infraestruturas, Portugal ocupa o 2º lugar na qualidade das estradas depois da Holanda.

Relativamente às infraestruturas ferroviárias, o principal problema está nas vias férreas em que 62,2% permanecem abaixo do nível adequado (15,1% necessitam de investimentos rápidos em manutenção e 47,1% precisam de acompanhamento), e apenas 11,3% cumprem os requisitos de qualidade [4]. Existem também pontes e túneis ferroviários abaixo dos níveis médios de qualidade nas proporções de 13,7% (pontes) e 27,9% (túneis), respetivamente. Todos os outros ativos incluídos na infraestrutura ferroviária também apresentam resultados preocupantes. Apesar de estar previsto desde 2016 um conjunto de investimentos significativos para os caminhos-de-ferro de acordo com o Plano de Investimentos Ferroviários (conhecido por Ferrovia 2020) mantém-se um atraso na execução deste plano. Para alcançar os compromissos nacionais e internacionais espera-se a transição das obras inacabadas para o futuro Plano Nacional Ferroviário que se encontra atualmente em discussão para se enquadrar no Plano Nacional de Investimentos 2030. Neste contexto esperam-se avanços significativos nas infraestruturas ferroviárias para fazer face aos problemas atuais. No entanto, será necessário esperar até ao final de 2023, altura em que se prevê a conclusão das atividades de construção e manutenção incluídas no Ferrovia 2020.

Ao contrário, as infraestruturas rodoviárias apresentam estados de condição substancialmente melhores. O relatório elaborado pelo Tribunal de Contas aponta para as necessidades de manutenção associadas à degradação dos pavimentos em que 22,7% estão abaixo do estado médio e uma proporção reduzida (3,5%) que necessita de manutenção urgente. As pontes e túneis estão unidos no mesmo grupo, registando-se 9,2% destes abaixo dos requisitos mínimos de qualidade [4].

Em geral, a diminuição dos investimentos públicos é um problema comum em todo o mundo, reconhecido pelo Fórum Económico Mundial [5], que afeta tanto países avançados quanto emergentes. Como resultado, a falta de investimentos em infraestrutura de transporte levou a uma importante deterioração estrutural da rede de infraestruturas de transporte. Nos últimos anos, os engenheiros perceberam que a maioria das estruturas construídas durante o século 20 tem uma vida útil muito menor do que as construídas anteriormente. Isso é resultado do esforço para construir estruturas mais económicas no menor tempo possível. Em geral, a deterioração em uma ponte de aço do século 20 é muito mais relevante do que um nível de dano semelhante numa estrutura de alvenaria do século 12 [6].

Apesar da importância de uma infraestrutura de transporte eficiente para o sucesso e prosperidade da economia nacional, o investimento reduzido implica menos atividades de manutenção, tanto quantitativa como qualitativamente, afetando assim a garantia de qualidade da infraestrutura de transporte [7]. Como exemplo recente, uma análise realizada por especialistas [8] aponta para a falta de manutenção e para o histórico de carregamento como possíveis falhas graves e causas possíveis para o colapso de uma parte relevante (cerca de 243m) do viaduto sobre o rio Polcevera em Génova (Ponte Morandi).

É, portanto, claro que é necessário aumentar os atuais níveis de investimentos, reativando o investimento público e privado em infraestrutura, educação e inovação, aumentando o crescimento da produtividade, apoiando o emprego e ampliando a procura agregada [5]. Conforme proposto pelo Fórum Económico Mundial, o desafio é a implementação de uma agenda ambiciosa para fomentar investimentos e incentivos combinando objetivos ambientais, sociais e económicos para aumentar a competitividade, o desenvolvimento sustentável e impulsionar

as infraestruturas e serviços de transporte para o crescimento económico nacional. No geral, a sustentabilidade ambiental reforça a ideia de manter o ambiente construído evitando alterar o ambiente natural. Como exemplo, propor grandes construções como pontes, barragens, aeroportos, rodovias e ferrovias é hoje muito mais difícil, sendo muitas vezes acompanhados por forte oposição de grupos de cidadãos com impacto na viabilidade social e política destas iniciativas. Além disso, estes projetos estão sujeitos a fortes restrições legais, veiculadas, por exemplo, por estudos de impacto ambiental, condicionando a viabilidade do projeto.

Em linha com a necessidade de fomentar o investimento sugerida pelo Fórum Económico Mundial, surge a necessidade de implementar sistemas de gestão de ativos [4] associados ao universo de infraestruturas de transporte, incluindo os diferentes ativos destas redes. Assim, um sistema nacional comum de gestão de ativos, implementado pelas principais entidades gestoras (públicas ou privadas) é essencial no suporte às decisões ao longo do ciclo de vida dos ativos, contribuindo igualmente para a formulação de políticas públicas inteligentes. O investimento anual para construir, manter, operar e melhorar as infraestruturas de transporte em resposta ao crescente número de passageiros, necessidades de mobilidade e renovação de infraestruturas envelhecidas representam uma parte significativa do orçamento público nacional. O conhecimento das necessidades de investimento, e a sua definição com base em informação de qualidade, permitem prever os custos de longo prazo das infraestruturas visando garantir a sustentabilidade dos orçamentos públicos. Este é um processo crítico sob a realidade atual de restrição orçamental. A nível europeu, o relatório desenvolvido pela OCDE [1] refere a falta de um quadro de comparação entre países no que respeita a ações, resultados e eficiência.

1.2 Sistemas de Gestão de Pontes Existentes

O GOA.BI é um projeto suportado por novas tecnologias e tendências digitais que concentra os seus esforços para enfrentar o conjunto de desafios descritos anteriormente com respeito a infraestruturas rodoviárias e ferroviárias. Este projeto visa desenvolver uma interface inteligente para apoiar os seus utilizadores (donos de obra, gestores, inspetores, entre outros) na gestão do ciclo de vida de sistemas complexos como as infraestruturas de transporte.

A tendência de implementação de sistemas de gestão começou, a nível global, pelas obras de arte. A complexidade e suscetibilidade estrutural e as necessidades de investimento ao longo das diferentes fases do ciclo de vida (conceção, construção, operação, manutenção e eliminação) realçam a influência das pontes nas redes rodoviárias e ferroviárias. Do ponto de vista prático, um Sistema de Gestão de Pontes (SGP) é útil para apoiar a gestão da manutenção, desenvolvendo um “padrão/cronograma” das atividades de manutenção (inspeções, substituições e reabilitações) tendo em vista o menor custo possível e a manutenção do desempenho da ponte, ou seja, garantir que a operação da ponte cumpra um conjunto de especificações de qualidade voltadas para as necessidades sociais, económicas, ambientais e individuais dos utilizadores. Atualmente, existem muitos sistemas de gestão com utilização em todo o mundo [9], nomeadamente o BRIDGIT, Pontis, FinnRABMS, KUBA, DANBRO, GOA, entre outros, com o primeiro SGP a surgir na década de 1960. O *National Bridge Inspection Standard* (NBIS) foi o primeiro sistema de gestão de pontes implementado nos Estados Unidos (EUA) em 1968 como consequência do colapso da Silver Bridge. Todos os 50 estados adotaram procedimentos de inspeção de acordo com o NBIS. Nas fases iniciais, a gestão das pontes existentes baseava-se na teoria da substituição e em modelos matemáticos simples. Esses métodos não incluíam o efeito das ações de manutenção preventiva ou os resultados das inspeções e, como tal, constituíam uma resposta incipiente às necessidades de uma ferramenta para a manutenção de pontes [6]. Na década de 1980, o Departamento de Transportes dos EUA (*Federal Highway Administration, FHA*) começou a perceber que a enorme quantidade de dados coletados ao longo dos anos poderia ser usada na definição da manutenção. Assim, o leque dos dados recolhidos tornou-se uma componente chave para a definição de um sistema de gestão de pontes, armazenando todas as informações associadas às pontes dentro de uma malha rodoviária ou ferroviária, como a sua identificação, características e histórico de inspeções e ações de manutenção. Na década de 1990, foram lançados dois SGP americanos, o BRIDGIT e o Pontis. Ambos usaram informações semelhantes para tomar decisões de manutenção de pontes com base num conjunto discreto de estados de conservação que definem a gravidade dos danos encontrados em cada elemento da ponte. Assim, um estado de condição é usado como uma medida/indicador de desempenho. A redução progressiva do estado de condição evidencia a degradação natural de um elemento de ponte ao longo da vida útil (em outros SGP existentes a classificação pode ser diferente, ou seja, um aumento progressivo pode estar associado à degradação natural). Os estados de condição dos elementos da ponte são obtidos principalmente a partir de inspeções visuais e, mais raramente, por meio de ensaios não destrutivos. A classificação em estados de condição é realizada comparando os danos observados com os padrões definidos para cada estado [10].

O atual sistema de gestão de obras de arte utilizada em Portugal, GOA® - Gestão de Obras de Arte foi criado em 1997, quando a Betar, identificando uma lacuna nacional, iniciou o desenvolvimento do primeiro sistema português de gestão de obras de arte. Após a conclusão da primeira versão da ferramenta comercial, em 1998, a Câmara Municipal de Lisboa foi o primeiro cliente a adquirir e implementar o GOA®, seguindo-se a Refer (Companhia Portuguesa de Caminhos de Ferro) em 1999. Em 2001, o colapso da Ponte Hintze Ribeiro, que resultou em 59 mortos, tornou-se uma tragédia histórica em Portugal e resultou numa viragem na gestão destes ativos [11]. A consciência, preocupações e medos dos donos de obra levaram a um aumento contínuo na procura por parte do mercado por esta nova ferramenta para a gestão dos ativos rodoferroviários. Assim, em 2004, a empresa pública de gestão da infraestrutura rodoviária, Estradas de Portugal, também adquiriu e implementou o GOA. Este conjunto de factos estabeleceu o GOA como padrão nacional, criando uma linguagem e um enquadramento comum que é utilizado por quase todos os proprietários de pontes em Portugal, tanto nas entidades públicas como privadas. Mais de 20 anos de aprendizagem e inovação permitiram o aperfeiçoamento deste software, com crescimento também fora do mercado português, nomeadamente em Moçambique, China e Malawi, com novos mercados em perspetiva.

Na sua versão atual o GOA é suportado por uma integração do Bing Maps®, que permite ao utilizador localizar de forma intuitiva os ativos geridos. O ponto de partida da ferramenta consiste no inventário completo e individual de cada ativo da rede por meio do processo de cadastro sistemático. A aplicação guarda uma caracterização completa, incluindo todos os dados administrativos (número de identificação, localização, entre outros), informação técnica que descreve o sistema estrutural e o seu comportamento, identificação de elementos discretos (componentes) e informação detalhada de materiais e quantidades (dados de constituição). Após a conclusão da etapa de inventário, a ferramenta suporta o fornecimento contínuo de dados respeitantes a cada ativo, suportado no registo de ações inspetivas e registos complementares das deliberações e alterações relevantes que ocorrem para cada ativo. As atividades de inspeção, predominantemente de cariz visual, podem ser divididas nos seguintes tipos: inspeções principais, rotina, subaquáticas e vistorias.

As inspeções principais ocorrem a cada quatro a seis anos (tipicamente) constituindo a inspeção periódica mais completa e detalhada. É realizada uma inspeção visual minuciosa com o objetivo de identificar danos estruturais que afetam o desempenho dos componentes, tanto a durabilidade quanto a segurança, atribuindo, para cada componente, o estado de conservação entre 0 e 5 (0 corresponde a uma condição excelente e 5 para uma condição crítica). As classificações por componente são ponderadas na atribuição de uma classificação geral da Obra de Arte, também variando entre 0 e 5. Constituída por um relatório fotográfico do estado da obra e anomalias relevantes, no final o inspetor fornece um conjunto de recomendações, variando entre trabalhos de reparação, alertas, acompanhamentos, ensaios e instrumentações ou estudos técnicos mais aprofundados. Para os casos mais graves pode ser recomendada a adoção de restrições à operação.

As inspeções de rotina são essenciais para garantir níveis adequados de serviço e qualidade, segurança no trânsito e verificar anomalias nos equipamentos que afetam a operação. Devem ser realizados a cada um a dois anos, resultando num relatório no qual são recomendadas ações de manutenção corrente e trabalhos de menor complexidade, como limpezas e pequenas reparações (por exemplo, aperto de elementos de fixação, trabalhos de selagem em juntas de dilatação, entre outros). Estas são as atividades periódicas típicas que resultam em estratégias preventivas para evitar a rápida degradação dos componentes estruturais e não estruturais que podem levar à substituição direta (manutenção corretiva). Nas inspeções de rotina a priorização das atividades é medida em função do índice geral de manutenção, ou seja, há uma classificação atribuída em função do número de componentes que necessitam de manutenção.

As inspeções subaquáticas requerem equipamentos adequados e uma equipa especializada em mergulho, sendo realizadas às zonas submersas de pontes que atravessam linhas de água.

As vistorias são semelhantes às inspeções principais, mas sem a obrigação de inspecionar todos os componentes da obra, sendo realizadas em casos de acidente, acompanhamento de anomalias de grande severidade e outros eventos extraordinários com potencial impacto em componentes específicos da obra.

1.3 Futuro dos Sistemas de Gestão de Pontes

Estamos perante uma nova fase de transformação digital de toda a indústria, que resulta de tecnologias disruptivas que abrem novos campos de aplicação. Estas inovações têm também aplicação nas atividades de gestão de ativos, e a Betar pretende ser um líder na disponibilização de novas ferramentas e soluções. De facto, os avanços

tecnológicos tanto em hardware quanto em software abrem novas possibilidades em ferramentas de previsão, *intelligence*, algoritmos de otimização, inspeção assistida por algoritmos inteligentes e *digital twins*. Assim, o projeto GOA.BI surge para reformular a próxima geração de gestão de ativos com foco no desenvolvimento de uma plataforma inteligente com um suporte mais efetivo a atividades que até agora eram deixadas exclusivamente a cargo do inspetor ou do gestor.

A versão atual do sistema contempla mais de 20.000 pontes, com vários anos de registos. Os dados existentes criam a oportunidade de implementar algoritmos especializados para extrair conhecimento a partir de padrões existentes, suportando as atividades de tomada de decisão. Consequentemente, para apoiar a tomada de decisão, em termos de manutenção, reparação e substituição de pontes, é fundamental prever, com a maior precisão possível, a condição futura de um elemento através de um modelo preditivo de degradação. Esses modelos lidam com incertezas significativas e a sua formulação é baseada no registo de estados de condição, obtido a partir de um conjunto de pontes com características e estado de conservação semelhantes. A cadeia de *Markov* é o modelo probabilístico mais comum usado em sistemas deste género, amplamente suportado por trabalho académico, usado para prever o desempenho futuro de sistemas em deterioração por meio de um modelo de degradação. As probabilidades de transição entre diferentes estados são geralmente determinadas por meio de análise estatística de casos semelhantes. A cadeia de *Markov* é um processo aleatório que sofre transições de um estado para outro num intervalo de tempo (processo estocástico). A propriedade de *Markov* postula que o próximo estado depende apenas do estado atual e não da sequência de estados anteriores. Como os SGP costumam usar escalas discretas para descrever o estado de seus ativos (estados de conservação), o modelo de *Markov* é uma escolha apropriada para modelar a degradação. No entanto, vários outros modelos foram testados, incluindo modelos de previsão baseados em inteligência artificial [10][12].

Normalmente, como para dada anomalia ou conjunto de anomalias temos um conjunto de atividades de manutenção com diferentes graus de efeito reparador e de longevidade, bem como com custos diversos, o decisor enfrenta um problema de objetivos contrários que devem ser considerados simultaneamente. A determinação da estratégia ótima de manutenção é formulada como um problema de otimização. Dado o modelo de deterioração e um conjunto de planos de manutenção previamente definidos, é possível construir um modelo de otimização multiobjectivo através de um algoritmo genético que deve ser contemplado no sistema de gestão. Este algoritmo evolutivo multiobjectivo é baseado em decomposição. Como operadores genéticos, normalmente são usados um cruzamento de dois pontos e uma mutação uniforme. Uma possível solução para o problema que representa um cronograma de manutenção para um dado ativo é codificada por um cromossoma como uma sequência de números inteiros, onde a posição define o tempo de aplicação e o valor representa o número de identificação da ação de manutenção. Como exemplo, considere a seguinte *string* [5 0 7 1 6 0 2 5 9 4]. Esta *string* representa o cronograma de ações de manutenção para 10 anos. Cada ação é indicada por um número inteiro que varia de 1 a 9, incluindo 0 para nenhuma ação. Assim, na primeira posição, a ação de manutenção do tipo 5 é aplicada no primeiro ano e assim sucessivamente. Todo o processo é repetido para os componentes do ativo combinando os cronogramas. Por fim, o modelo de otimização pode fornecer uma estratégia de manutenção eficaz, garantindo níveis adequados de segurança e níveis de serviço (estado de conservação adequado) e minimizando os custos de manutenção.

Novos sistemas de gestão de ativos integrarão tecnologia Bridge Information Modeling (BrIM). Os modelos BrIM atuais centram-se essencialmente na representação geométrica 3D, incorporando a informação associada às fases de projeto e construção. A maximização do uso de modelos BrIM ocorre com a adaptação para suportar outras dimensões relevantes, como custo e tempo, relevantes ao longo do ciclo de vida do ativo (dimensão 7D na terminologia BIM).

A interface visual fornecida pelos modelos BrIM será importante para apoiar as inspeções no terreno. Atualmente, as equipas de inspeção registam as diversas anomalias com localizações aproximadas, de forma não tipificada, limitando o valor da informação recolhida. Embora já existam sistemas que utilizam ferramentas digitais para apoiar os processos de inspeção, os dados recolhidos raramente são acompanhados da sua representação 3D.

2 PROJETO GOA.BI

Ao longo de vinte anos de evolução e ampla adoção, o GOA tem vindo a ajudar os gestores de pontes a garantir a segurança e nível de serviço de mais de 20.000 pontes. Permite a recolha de dados e a sua disponibilização num *software* testado e robusto, implementado em vários países.

Os utilizadores dos sistemas de gestão procuram, de forma crescente, informações e *intelligence* que permita um melhor suporte à decisão, priorização de estratégias, previsão e redução de custos. Entretanto, a maturidade e eficácia dos sistemas de gestão de ativos para pontes também impulsionam os proprietários a olhar para outros ativos relevantes, seguindo uma crescente conscientização dos riscos económicos, de segurança, ambientais e reputacionais, tanto dos donos de obra quanto da sociedade em geral. A ideia principal subjacente a este projeto é que a novas ferramentas de transformação digital, aplicadas aos principais processos da gestão de ativos, são uma resposta para muitos dos desafios emergentes.

Os dados estão sistematizados, organizados e imediatamente disponíveis, mas ainda é difícil extrair informação processada, com *insight* suportado pela vasta quantidade de dados disponíveis, que possa auxiliar as atividades de gestão. Além disso, os procedimentos no terreno, como a inspeção, ainda são em grande parte transposições digitais de processos manuais, baseados no papel do inspetor. Os dados de caracterização de ativos ainda são difíceis e caros de obter e manter de forma que tragam valor acrescentado ao utilizador. Envolve visitas prolongadas ao local, é suscetível a erros e muitas vezes requer pós-processamento das informações para extrair os dados necessários (por exemplo, estimar a área de um pilar para pintura pode exigir processamento intermédio de dados de altura e perímetro).

A tecnologia *Bridge Information Modeling (BrIM)* facilitará a visualização, caracterização e recuperação de dados geométricos, utilizados nas diferentes atividades de gestão de ativos. A tecnologia *BrIM* também facilitará a extensão do sistema para outros ativos. Os registos estáticos tradicionais devem ser completamente alterados (alterando os modelos de dados e a interface do utilizador) quando um novo ativo é caracterizado. Com os modelos *BrIM*, a inserção de novos ativos poderá praticamente imediata, existindo já um modelo *BrIM* da obra em questão.

A inspeção é uma das principais atividades do sistema e ainda exige visitas demoradas das equipas de inspeção. Os inspetores devem registar todos os dados relevantes associados à ponte ou estrutura de forma descritiva, e as ferramentas móveis ainda incluem grandes obstáculos para uma inspeção eficaz e rápida. A tecnologia *BrIM* móvel simplificada pode facilitar o trabalho das equipas em campo, simplificando a localização e a caracterização de defeitos. A tecnologia *BrIM* também mostra o potencial de permitir a inspeção autónoma recorrendo a UAVs, correlacionando facilmente as informações entre os sensores do UAV e o modelo.

A extração de informação relevante a partir dos dados, nomeadamente localização e caracterização de anomalias, a sua evolução ao longo do tempo e o acompanhamento entre diferentes inspeções sempre foi muito limitada pelas restrições de modelos de dados tradicionais que lutam para representar eficazmente dados geométricos. Essas insuficiências têm impedido resultados satisfatórios em algoritmos que dependem dessa informação, como sejam modelos de degradação e outras ferramentas de previsão. Acredita-se que o uso da tecnologia *BrIM* durante o registo de dados de inspeção resolverá muitas das limitações que têm constrangido a eficácia deste tipo de sistemas, permitindo disponibilizar ferramentas mais confiáveis para apoio à tomada de decisão.

2.1 Objetivos e Solução Proposta

Tendo em conta o contexto acima exposto, o projeto GOA.BI é suportado por um consórcio multidisciplinar que visa o desenvolvimento de um novo sistema de gestão de pontes designado GOA.BI, baseado na aplicação GOA®, padrão da gestão de ativos em Portugal. Este novo sistema é suportado por uma plataforma web e uma aplicação mobile complementar. O primeiro destina-se ao todo o tipo de utilizadores do sistema, consistindo na sua versão completa, incluindo módulos principais, módulos de suporte e componentes de *intelligence*. A aplicação mobile está vocacionada para as atividades a realizar no terreno, como seja a inspeção, orientada para a facilidade e precisão da recolha de informação.

A *Figura 1* apresenta um fluxograma da nova arquitetura do sistema. Nas periferias superior e inferior estão representadas as duas principais formas de acesso ao novo sistema. No centro, são mostrados os principais módulos a serem desenvolvidos. Começando pelo núcleo do sistema, módulo GOA.BI, este será essencialmente baseado no sistema GOA já existente, que será atualizado considerando a interoperabilidade entre o sistema existente e os novos módulos. Este consistirá na componente central do sistema, através do qual todos os outros módulos comunicam.

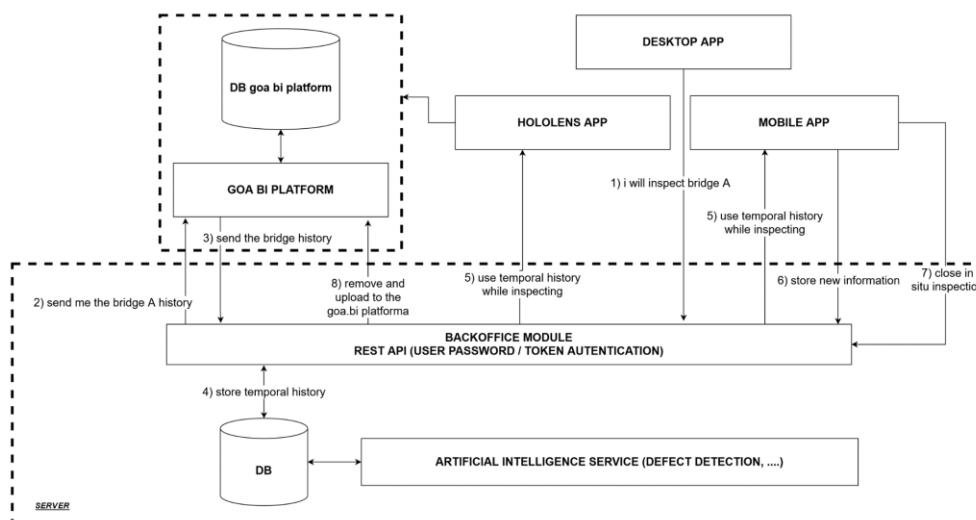


Fig.1. Fluxograma da arquitetura do sistema

Um dos novos módulos é o módulo *BrIM*, que será composto por ferramentas de visualização (2D/3D), uma base de dados de informações paramétricas referentes a cada ponte específica e todos os recursos de compatibilidade necessários para que seja possível a troca de informações com todos os outros módulos.

Os outros dois novos módulos a serem desenvolvidos são um módulo de apoio à manutenção preditiva e um módulo de apoio à tomada de decisão dos gestores de infraestruturas. Estes incluem os modelos de previsão baseados em *Markov* amplamente utilizados, mas também modelos de previsão analíticos e baseados em inteligência artificial.

Em ambas as extremidades do fluxograma, além da principal ferramenta de acesso à plataforma, estão representados os módulos de suporte a uma ferramenta de processamento de imagem, suportada por inteligência artificial, para identificação automática de anomalias.

Além das funções principais associadas aos componentes ilustradas no diagrama anterior, prevê-se o cumprimento de outros objetivos importantes relacionados com novas ferramentas de aquisição e troca de informações entre todos os módulos.

A lista seguinte resume todos os principais objetivos do projeto:

- (i) Desenvolvimento de uma nova plataforma baseada na web, modular e escalável, que pode ser continuamente atualizada com novas funcionalidades e módulos;
- (ii) Desenvolvimento de plataforma de interface inteligente para uso em campo pelas equipas de inspetores;
- (iii) Desenvolvimento de novos equipamentos de inspeção aproveitando as ferramentas comerciais existentes (*drones* comerciais, câmaras, etc.) e algoritmos/métodos na área de visão computacional e *deep learning*;
- (iv) Desenvolvimento de ferramentas de realidade mista para visualização dos dados recolhidos, com técnicas de *Visual Analytics* e Realidade Aumentada;
- (v) Desenvolvimento de algoritmos para serem utilizados na troca de informações entre novos sensores de equipamentos de inspeção e modelos *BrIM*;
- (vi) Desenvolvimento de algoritmos de correlação de imagens digitais para medições de inspeção pós-processo;
- (vii) Desenvolvimento de módulo de gestão de manutenção preditiva, que auxiliará na definição de prioridades para trabalhos de manutenção;

- (viii) Desenvolvimento de um módulo de tomada de decisão, que ajudará na definição do tipo de intervenção a realizar, tendo em conta a relação custo-benefício associada.

3 CONCLUSÕES

Em todo o mundo, a mobilidade de pessoas e bens é condicionada pelas infraestruturas de transporte existentes. Tais infraestruturas de transporte dependem de manutenção constante para terem um desempenho aceitável, tanto em termos de segurança estrutural quanto de condições de serviço. O foco do presente projeto incide na manutenção de infraestruturas de transporte, nomeadamente, no desenvolvimento de uma plataforma holística de gestão a ser utilizada na manutenção de estruturas de engenharia civil.

O copromotor líder do projeto (Betar) trabalha na gestão de estruturas de engenharia civil há mais de 20 anos. Atualmente, como consequência da revolução digital, muitas das novas infraestruturas de transporte, mas também as existentes, estão a ser projetadas recorrendo aos chamados *Bridge Information Models (BrIM)*. Os modelos *BrIM* têm sido mais rapidamente adotados na fase de projeto, mas constituem uma ferramenta de tremendo potencial para a gestão de infraestruturas durante as etapas de operação.

Neste contexto, o projeto GOA.BI visa incorporar modelos *BrIM* numa plataforma de gestão de ativos, desenvolvendo novas ferramentas que beneficiem desta tecnologia. A primeira destas ferramentas está relacionada com fluxos de trabalho de campo (inspeção). Pretende-se implementar uma ferramenta de inspeção móvel (tablet) baseada em representações visuais ricas das estruturas, aliada a algoritmos de inteligência artificial para processamento das imagens recolhidas na inspeção. Estas ferramentas deverão contribuir para apoiar o trabalho do inspetor no terreno, a que se juntará uma solução de realidade mista para suporte à visualização do estado das estruturas durante as atividades de gestão. Complementarmente, e capitalizando uma recolha mais rica e precisa de informação no terreno, está prevista a implementação de ferramentas de apoio à decisão fortemente vocacionadas para a manutenção preditiva. O objetivo é otimizar a alocação de recursos e minimizar o investimento com base na previsão de degradação das estruturas e algoritmos de otimização das estratégias de manutenção. A riqueza acrescida dos modelos *BrIM*, alimentada por processos de inspeção cada vez mais avançados deverão proporcionar melhorias drásticas nos resultados produzidos por esta nova geração de ferramentas de apoio à gestão de ativos, proporcionando uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos disponíveis.

No final do projeto a nova plataforma será testada com dados reais fornecidos pela Infraestruturas de Portugal, que se constitui, por larga margem, como o maior gestor de obras de arte a nível nacional.

4 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ANI (“Agência Nacional de Inovação”) pelo apoio financeiro ao Projeto de I&D “GOA Bridge Management System – Bridge Intelligence”, com referência POCI-01-0247-FEDER-069642, cofinanciado pelo European Regional Development Fundo (FEDER) por meio do Programa de Competitividade Operacional e Internacionalização (POCI).

5 REFERÊNCIAS

1. Fórum Internacional de Transporte, 2013. *Compreendendo o Valor da Infraestrutura de Transporte - Diretrizes para medição em nível macro de gastos e ativos*. França.
2. *Diário da República n.º 188/2003, SI-A. de 2003-08-16, 2003*. Decreto-Lei n.º 182/2003.
3. Hammervold, J., Reenaas, M., Brattebø, H., 2013. *J. Bridg. Eng.* 18, 153-161.
4. Simões, L., Silva, M., Patrocínio, T., Castro, Marçal, C., 2020. *Operacionalidade de Infraestruturas e Transportes*. Lisboa, Portugal.
5. Fórum Económico Mundial, 2019. *O Relatório de Competitividade Global 2019*.

6. Neves, L., Frangopol, DM, Hogg, V., 2003. *Interação Condição-Confiabilidade-Custo na Manutenção de Pontes*, em: Nona Conferência Internacional sobre Aplicações de Estatística e Probabilidade em Engenharia Civil, ICASP9.
7. Kunert, U., Link, H., 2013. *DIW Econ. Touro*. 3, 12-17.
8. Calvi, GM, Moratti, M., O'Reilly, GJ, Scattarreggia, N., Monteiro, R., Malomo, D., Calvi, PM, Pinho, R., 2018. <https://doi.org/10.1080/10168664.2018.1558033> 29, 198–217.
9. Mirzaei, Z., Adey, B., Klatter, L., Thompson, P., 2014. *Visão geral dos sistemas de gestão de pontes existentes*. Relatório do Comitê de Gestão de Pontes do IABMAS.
10. Santamaria, M., Fernandes, J., Matos, J., 2019. *Visão geral sobre modelos preditivos de desempenho – Aplicação a sistemas de gestão de pontes*, em: Simpósio IABSE, Guimarães 2019: Rumo a um Ambiente Construído Resiliente Gestão de Riscos e Ativos.
11. Carmo, J., 2021. *Colapso da ponte Hintze Ribeiro e as lições aprendidas*, em: Gestão de Bacias Hidrográficas - Questões de Sustentabilidade e Estratégias de Planeamento. IntechOpen, p. 19.
12. Santamaria Ariza, M., Zambon, I., S. Sousa, H., Campos e Matos, JA, Strauss, A., 2020. *Estrutura. Concr. suco.201900434*.