

# NOVA ABORDAGEM PARA SISTEMAS DE GESTÃO DE PONTES USANDO BIM

Vânia Marecos<sup>1</sup>, António Antunes<sup>2</sup>, Jelena Petrović<sup>3</sup> e José Barateiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Núcleo de Infraestruturas de Transportes, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

email: [vmarecos@lnec.pt](mailto:vmarecos@lnec.pt) <http://www.lnec.pt>

<sup>2</sup> Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Núcleo de Tecnologias da Informação em Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

<sup>3</sup> BEXEL Consulting, Višnjićeva 8, 11000 Belgrade, Serbia

---

## Sumário

*Este artigo demonstra as potencialidades do uso de uma plataforma BIM, como auxiliar para um sistema de gestão de pontes, funcionando como um framework para armazenar informações e fornecer uma interface visual integrando dados de avaliação da condição estrutural da ponte sobre o seu modelo BIM. Este trabalho foi desenvolvido dentro do projeto CoDEC (Connected Data for Effective Collaboration) financiado pelo CEDR (Conference of European Directors of Roads) Transnational Research Program Call 2018.*

---

**Palavras-chave:** Pontes; Sistemas de Gestão; BIM; Ontologia; Monitorização.

## 1 INTRODUÇÃO

As pontes apresentam-se numa variedade de formas, tamanhos e vãos, e com numa infinidade de sistemas estruturais e combinações de materiais. Os danos que podem ocorrer ao longo da vida útil de uma ponte são também muito diversos dependendo do tráfego, das condições ambientais e de diversos fenómenos de degradação. Portanto, a monitorização contínua e as inspeções periódicas são ferramentas essenciais para um sistema de gestão de uma ponte.

Este trabalho foi desenvolvido dentro do projeto CoDEC [1] (*Connected Data for Effective Collaboration*) financiado pelo CEDR (*Conference of European Directors of Roads*) Transnational Research Program Call 2018.

O projeto CoDEC explorou o uso do BIM como ferramenta de apoio à tomada de decisão, sendo que o estudo aqui apresentado foca-se na demonstração da aplicação desta abordagem ao Projeto Piloto de uma ponte. O principal objetivo foi a integração de dados sobre a condição estrutural de uma ponte no modelo BIM da ponte, para demonstrar as potencialidades de uma plataforma BIM, como uma estrutura para armazenar informações e fornecer uma interface visual para os dados de monitorização estrutural.

Foi definida uma ontologia integrada no projeto CoDEC, com base na *framework* EurOTL [2], para garantir a conexão entre o modelo BIM, os elementos estruturais da ponte e os dados da monitorização. Para permitir a visualização e análise dos dados da condição estrutural diretamente no modelo BIM foi desenvolvido um Add-in e para cada elemento BIM foi adicionada uma lista de atributos para armazenar dados relevantes das inspeções, incluindo acesso a dados externos como fotos. Uma vez instalado o *add-in* e após a ligação com os dados da monitorização, o utilizador pode obter a lista de inspeções associadas à estrutura e explorar numa visualização 3D os dados associados a cada elemento.

## 2 VISUALIZAÇÃO DE DADOS DE INSPEÇÃO DE UMA PONTE NUM MODELO BIM

### 2.1 Conceito e objetivos

A gestão da segurança e manutenção de uma ponte é uma atividade complexa que engloba monitorização contínua e inspeções regulares que geram dados a partir dos quais podem ser obtidas informações significativas sobre a sua condição estrutural, envelhecimento e capacidade operacional.

O projeto piloto apresentado neste artigo teve como objetivo demonstrar o uso da arquitetura CoDEC para apoiar o processo de inspeção estrutural de uma ponte, garantindo o acesso aos dados de inspeção e assegurando a sua gestão e ligação à infraestrutura (ponte e seus elementos) através do modelo BIM, o qual é usado também como ferramenta de suporte para visualização da informação. A Figura 1 apresenta a arquitetura de alto nível do CoDEC aplicada ao presente estudo.

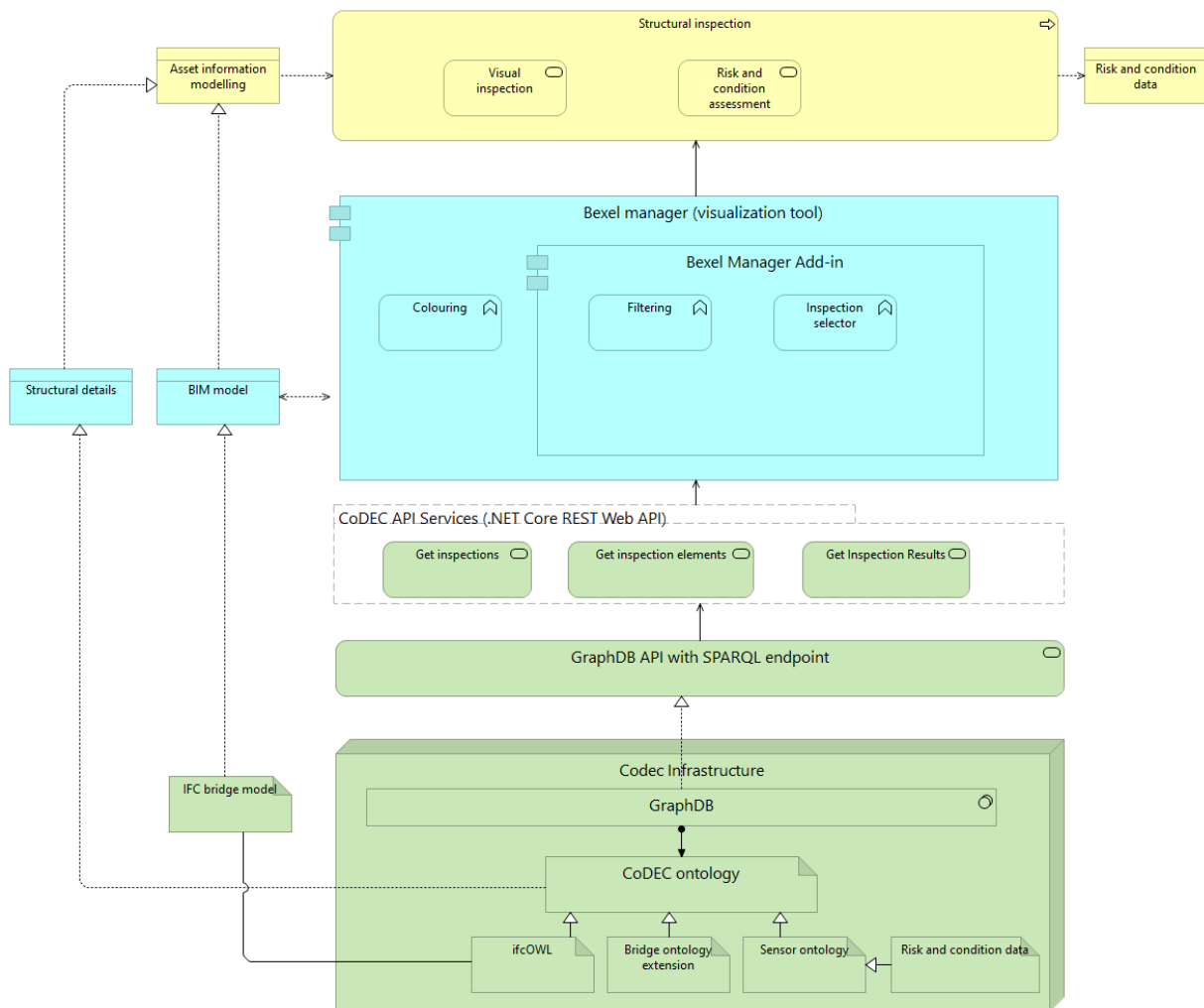


Fig. 1 Arquitetura CoDEC aplicada ao projeto piloto de uma ponte

A ontologia CoDEC [3] foi usada para armazenar conhecimento sobre a estrutura e os seus elementos, armazenar informações sobre dados de inspeção e garantir a conexão entre o modelo BIM e as informações atrás referidas. Os atributos necessários para definir as entidades da estrutura, por forma a permitir o armazenamento das informações sobre a ponte e os seus elementos estruturais no modelo BIM, foram apresentados no dicionário de dados CoDEC, tendo sido desenvolvidos (e adicionados à ontologia) com base nos requisitos do projeto piloto.

O acesso à ontologia foi feito através de uma *Application Programming Interface* (API). A API CoDEC é um componente crítico da solução técnica: cria uma camada de abstração e independência entre os dados e os níveis lógicos; permite que qualquer solução tecnológica tenha acesso ao ambiente de dados vinculados; elimina qualquer dependência técnica para aceder ao ambiente de dados; permite que a ontologia evolua sem alterar as aplicações que a acedem por meio da API; permite isolar a complexidade dos dados, ou seja, pode ser utilizado por qualquer aplicação sem a necessidade de conhecer os detalhes da implementação; permite um desenvolvimento mais rápido; e simplifica todo o processo de teste e validação.

As ferramentas de visualização e gestão de dados permitem o acesso à API para manipular e aceder aos dados. Para o utilizador final, a única interface necessária com a solução CoDEC é a ferramenta de visualização/gestão de dados, ocultando toda a complexidade do ambiente de dados vinculados.

## 2.2 Metodologia e implementação

A Figura 2 apresenta um resumo esquemático de como o projeto piloto aplicou a abordagem CoDEC na integração dos dados de avaliação da condição estrutural da ponte, provenientes das atividades de inspeção visual, com uma visualização 3D sobre o modelo BIM.

Este projeto piloto foi desenvolvido em parceria com o parceiro de implementação, Rijkswaterstaat, que disponibilizou o modelo BIM usado. O modelo continha 496 elementos de quatro classes IFC diferentes. Este modelo foi importado para o ambiente BIM Bexel Manager no formato IFC open BIM (ISO 16739-1).

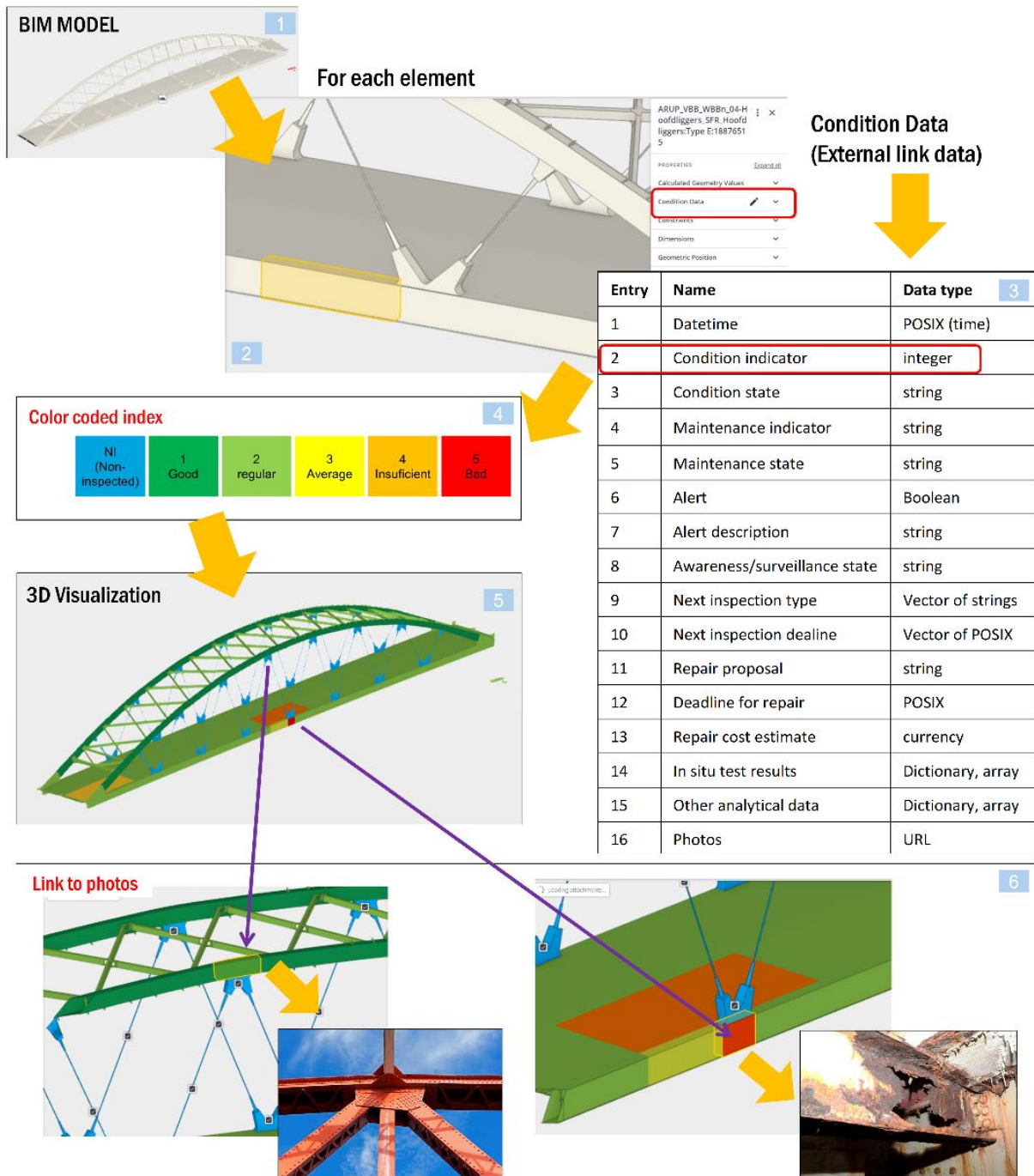
Numa fase inicial, foi definida uma lista de atributos a associar a cada elemento BIM por forma a possibilitar o armazenamento de informação relevante associada à inspeção da ponte, que inclui desde indicadores qualitativos e quantitativos, a avisos e datas das próximas intervenções, até documentos e fotografias. Estes atributos poderão ser visualizados sobre o modelo BIM através de uma representação com código de cores, ou acedidos através de link externos como é o caso dos documentos e fotografias.

Para que seja possível armazenar a informação da estrutura e dos seus elementos, dos dados de inspeção e garantir a ligação de todas estes dados ao modelo BIM foi necessário definir a ontologia CoDEC.

A Ontologia CoDEC foi baseada na framework EuroOTL, utilizando os conceitos e propriedades já definidas e complementando, sempre que necessário, com a criação de novas classes ou propriedades para garantir o nível de detalhe requerido do projeto piloto. A ontologia CoDEC foi desenvolvida usando o Stanford's Protégé. O Quadro 1 mostra um exemplo da relação entre o Dicionário de Dados e a Ontologia.

Quadro 1. Exemplo do Dicionário de Dados e relação com a Ontologia

Dicionário de Dados			Ontologia		
Propriedade	Descrição	Formato	Domínio	Propriedades de objeto/dados	Ligação/alcance
Bridge ID	The unique reference identifier for bridge	String	bridgeID	is-a	Bridge
Bridge name	The name of the bridge	String	bridgeID	rdfs:label	xsd:string
Environment	Classification of surrounding environment (e.g.: Rural/Urban)	String	bridgeID	inEnvironment	xsd:string
Region/District/Area	Relevant geographical situation	String	bridgeID	prov:atLocation	eurotl:LocationBy Identifier
Owner	Owner of the asset	String	bridgeID	hasOwner	prov:Agent (Person or Org.)



**Fig. 2** Representação esquemática da aplicação do projeto piloto na ótica do utilizador

Adicionalmente, e como o EurOTL não fornece nenhuma especificação sobre dados dinâmicos, o CoDEC usou a ontologia Semantic Sensor Network (SSN), do OGC para codificar e estruturar os dados das inspeções (Figura 3). Num processo de inspeção, o técnico responsável assume o papel de “sensor” registando um conjunto de observações relacionadas com os vários elementos estruturais. Os resultados da inspeção podem ser guardados como valores simples, resultantes de uma observação direta, ou como índices obtidos após uma análise mais completa, capaz de representar diversas observações, incluindo por exemplo fotografias tiradas durante a inspeção.

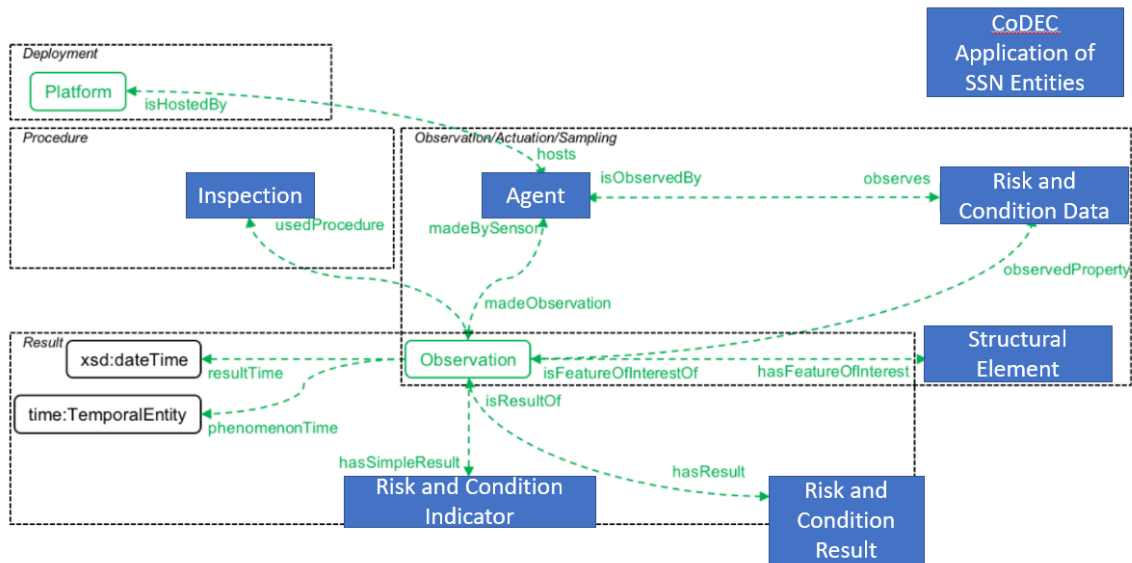


Fig.3. Aplicação do SSN na estruturação dos dados de inspeção

Com todas as classes e relações entre elementos concluídas, a ontologia foi preenchida integrando os dados do projeto piloto. A ontologia foi preenchida em GraphDB, uma base de grafos que segue as especificações RDF e SPARQL. A Figura 4 apresenta um exemplo de estrutura de dados (com dados fictícios) para uma ponte e um pavimento. Os dados foram adicionados à ontologia usando o *plugin* Cellfie do Protégé. O Cellfie usa uma linguagem baseada na sintaxe Manchester OWL para definir regras de importação e mapeamentos de informações de dados Excel para novos axiomas de ontologia (Figura 5).

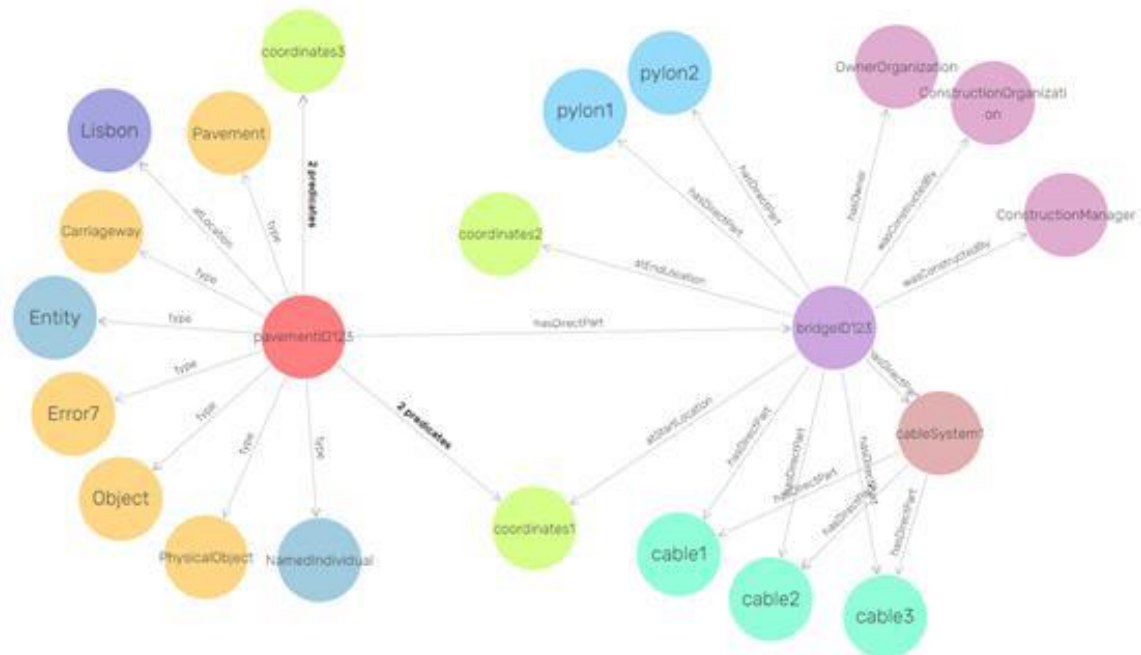
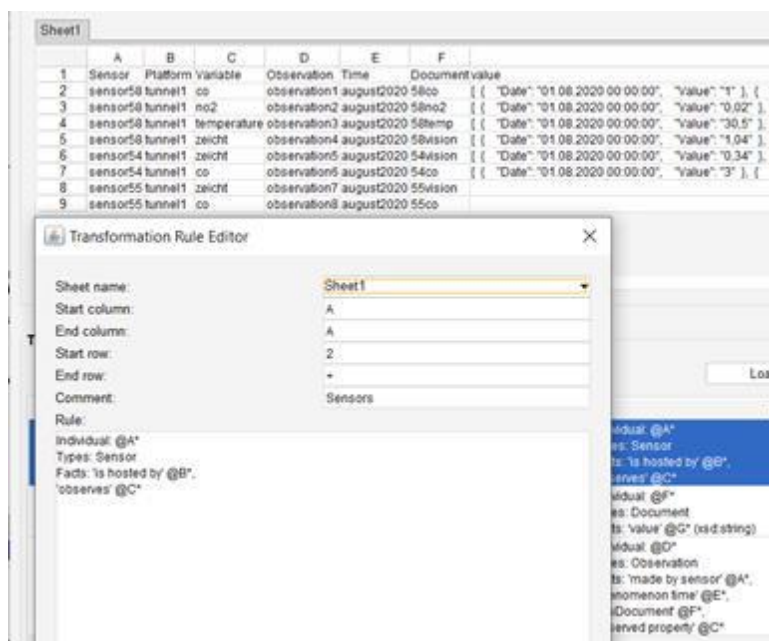
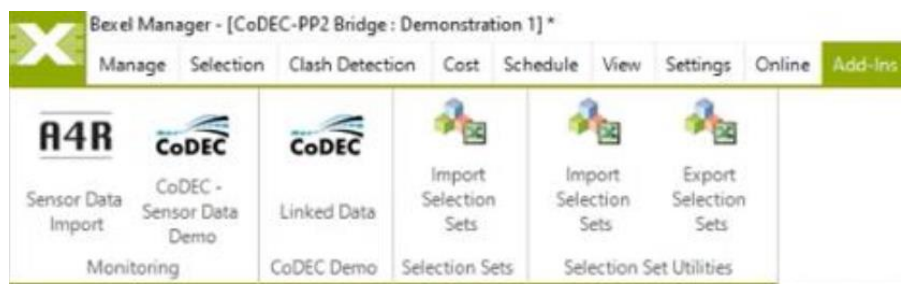


Fig.4. Exemplo de estrutura de dados no GraphDB



**Fig.5. Interface do plugin Cellfie com as regras de transformação**

Após a importação de todos os dados para o modelo era necessária uma ferramenta de visualização que permitisse a interação com o modelo BIM. A ferramenta utilizada foi o Bexel Manager, tendo sido melhorada com o desenvolvimento de um Add-in para ligação à ontologia (através da API CoDEC), permitindo a filtro e seleção de dados e a coloração dos elementos do modelo BIM com base em indicadores de referência, definidos pelo utilizador (Figura 6).



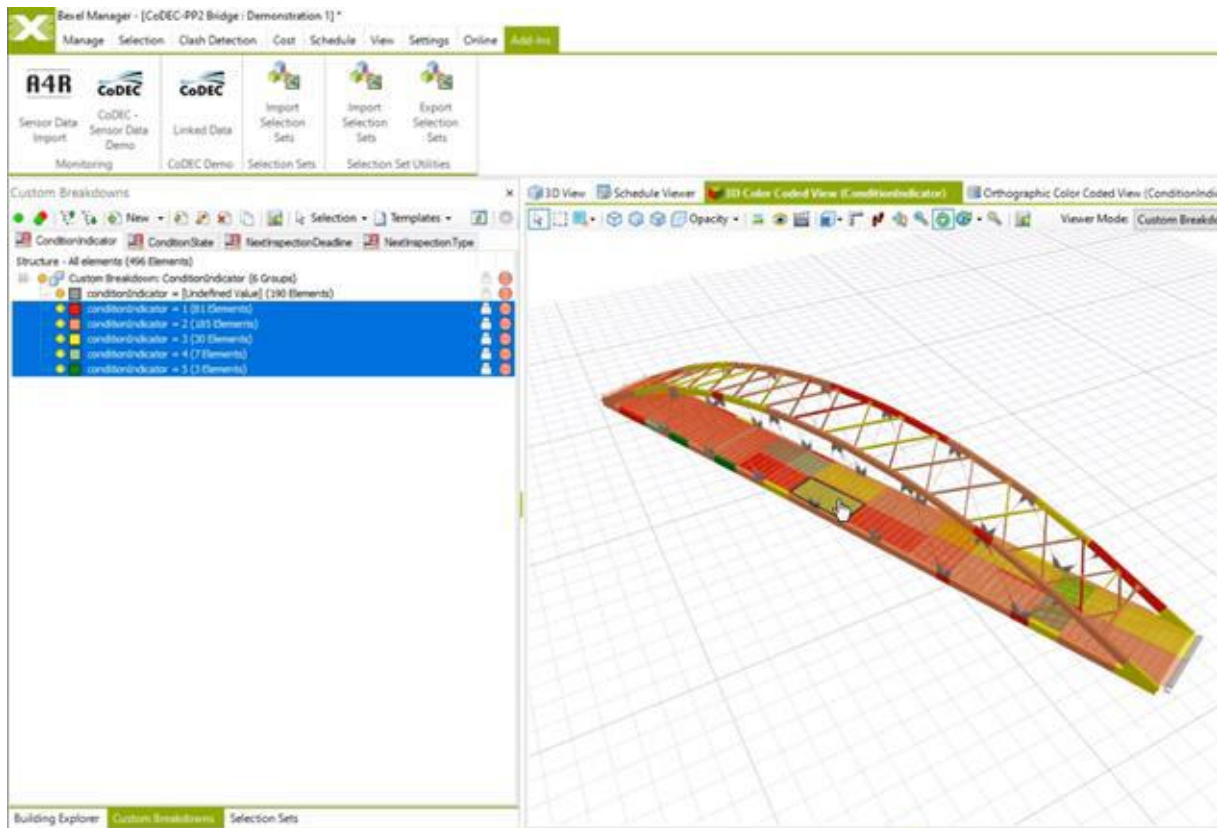
**Fig.6. Integração do Add-in CoDEC ao Bexel Manager**

### 2.3 Apresentação de resultados

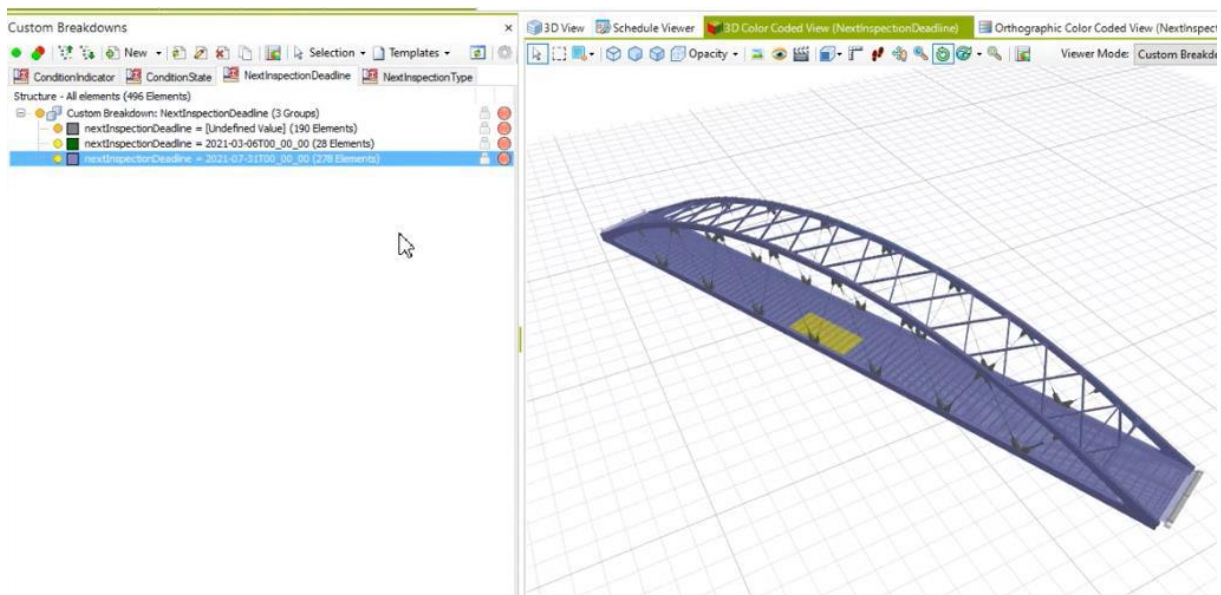
Os resultados do Projeto Piloto permitem a visualização e análise dos dados provenientes das inspeções da ponte diretamente no modelo BIM, utilizando o Add-in desenvolvido para este projeto. Após abrir o modelo BIM no Bexel Manager, todas as funcionalidades típicas da ferramenta estão disponíveis. Com a instalação do add-in o utilizador poderá obter a lista de inspeções associadas à estrutura e obter os dados referentes a essa inspeção.

Nas Figuras 7 e 8 é possível visualizar a utilização da funcionalidade Custom Breakdown (CBS) onde são atribuídas diferentes cores aos elementos da estrutura, de acordo com os valores de cada parâmetro, determinados para cada elemento da inspeção selecionada. Esta funcionalidade pode ser aplicada para representar quer parâmetros quantitativos, como a avaliação da condição estrutural (Figura 7), quer qualitativos, como a data limite da próxima inspeção (Figura 8). Desta forma é possível não só analisar os resultados de uma dada inspeção, mas

também programar inspeções futuras. O utilizador pode editar o esquema de cores e definir as regras e os limites para a sua atribuição em função dos valores associados a cada elemento da estrutura.



**Fig.7. Modelo BIM colorido função do índice de avaliação da condição estrutural**



**Fig.8. Modelo BIM colorido função da data limite da próxima inspeção**

Ao selecionar um elemento (ou conjunto de elementos) é possível visualizar todos os detalhes dos atributos que lhe estão associados (Figura 9). No caso particular de imagens (especialmente aquelas referentes a fotografias), é fornecido um link para a imagem ou pasta de imagens que foram capturadas durante a inspeção selecionada. Como esta informação está incluída na extensão da ontologia podem existir várias imagens associadas a cada elemento da estrutura numa inspeção.

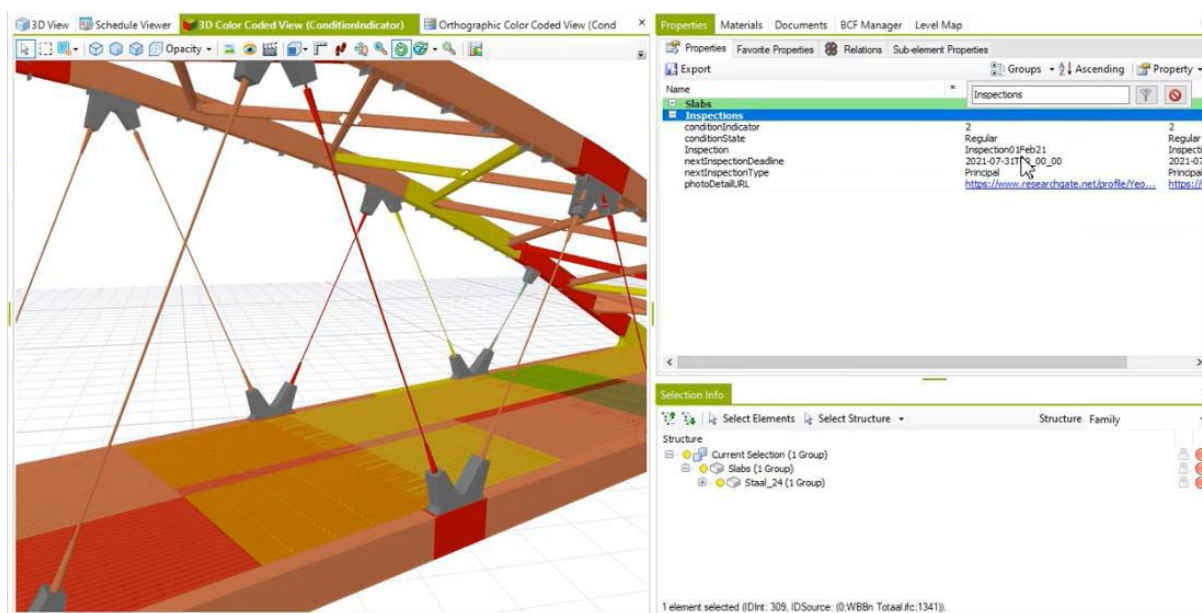


Fig.9. Detalhes dos atributos do elemento, incluindo links para as imagens

## 2.4 Discussão de resultados e recomendações

Com o projeto piloto aqui apresentado foi possível demonstrar, com sucesso, a integração no modelo BIM de dados provenientes da inspeção de uma ponte. Os dados são acedidos através da API CoDEC, que posteriormente faz a sua conexão com o modelo BIM da ponte, permitindo a sua visualização gráfica no modelo através do uso de esquemas de cores que permite uma análise rápida e eficaz.

Uma das principais dificuldades desta abordagem esteve relacionada com a ligação entre os dados e o modelo BIM, pois habitualmente estes dados são guardados em sistemas externos, sem conexão com os modelos BIM. A abordagem adotada neste projeto piloto envolveu o uso da ontologia ifcOWL, permitindo assim a ligação entre os elementos BIM e as fontes de dados (com esta abordagem podemos usar qualquer campo para fazer a conexão desde que haja um ou mais campos que permitam fazer a associação quando se faz a importação para a ontologia).

O projeto testou a conversão do modelo BIM em ifcOWL. No entanto, como não foi possível filtrar os elementos durante a conversão, a ontologia gerada era bastante pesada e complexa, tornando-se difícil de manipular. Embora este problema não surja em modelos mais simples é uma grande limitação em modelos mais complexos e/ou detalhados. Assim, uma das principais recomendações seria que as ferramentas BIM disponibilizem funcionalidades de exportação para o ifcOWL, com mecanismos avançados de filtragem, tanto ao nível dos elementos a exportar, como ao nível dos detalhes das propriedades a incluir na exportação.

Por fim, e aproveitando os recursos de visualização do Bexel Manager, os dados foram importados para o modelo BIM por meio da API CoDEC. A principal limitação desta solução foi a falta de separação das informações geridas pelo modelo BIM provenientes das bases de dados, exigindo que o modelo BIM seja atualizado continuamente para fornecer o recurso de visualização.



### 3 CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu demonstrar as potencialidades do ambiente BIM como suporte de sistemas de gestão de pontes, funcionando como interface com o utilizador e como repositório de informações para tomada de decisão.

Do ponto de vista técnico os dois principais desafios foram a estruturação e organização dos dados, com base num dicionário de dados e a integração desses dados numa plataforma BIM, de forma acessível, escalável e independente (permitindo a interoperabilidade com qualquer ambiente BIM).

Como resposta ao primeiro desafio foi desenvolvida a ontologia CoDEC com base na ontologia do projeto Interlink, para garantir o alinhamento com o Road OTL e permitir o desenvolvimento de instâncias de ontologia CoDEC a partir de implementações Road OTL. O desenvolvimento da API CoDEC foi solução para o segundo desafio criando uma base de abstração para acesso aos dados (leitura e escrita) descritos pela ontologia CoDEC originando independência tecnológica, redução da complexidade e facilidade na extensão de serviços.

Por ultimo, as ferramentas de visualização desenvolvidas para a aplicação Bexel Manager permitiram a análise de dados de inspeção de uma ponte dentro do BIM, possibilitando a análise centralizada 3D de dados complexos, que podem ser provenientes de múltiplas fontes.

### 4 AGRADECIMENTO

O financiamento para esta pesquisa foi assegurado pelas administrações rodoviárias nacionais da Áustria, Bélgica Flandres, Dinamarca, Finlândia, Alemanha, Países Baixos, Noruega e Suécia, através do programa *Transnational Road Research Program Call 2018:BIM* do CEDR.

### 5 REFERÊNCIAS

1. CoDEC Project: <https://www.codec-project.eu/>
2. EurOTL framework: <https://www.roadotl.eu/static/eurotl-ontologies/index.html>
3. Studer, R., Benjamins, V. R., & Fensel, D. (1998). Knowledge engineering: Principles and methods. *Data & knowledge engineering*, 25(1-2), 161-197.