

# Evolução e Inovação na Gestão de Obras de Arte: Uma Visão de Futuro

S. Costa, F. Milhazes, V. Brito, T. Mendonça, BETAR CONSULTORES



# Contexto dos Sistemas de Gestão de OA

01.

**Adoção em larga escala desde finais do séc. XX**

Abordagem sistemática à gestão das obras de arte, sustentada em inspeções periódicas, é um standard mundial

02.

**Sucesso dos sistemas de gestão**

Por todo o lado estes sistemas têm permitido evitar acidentes e otimizar a gestão de obras de arte e outras estruturas

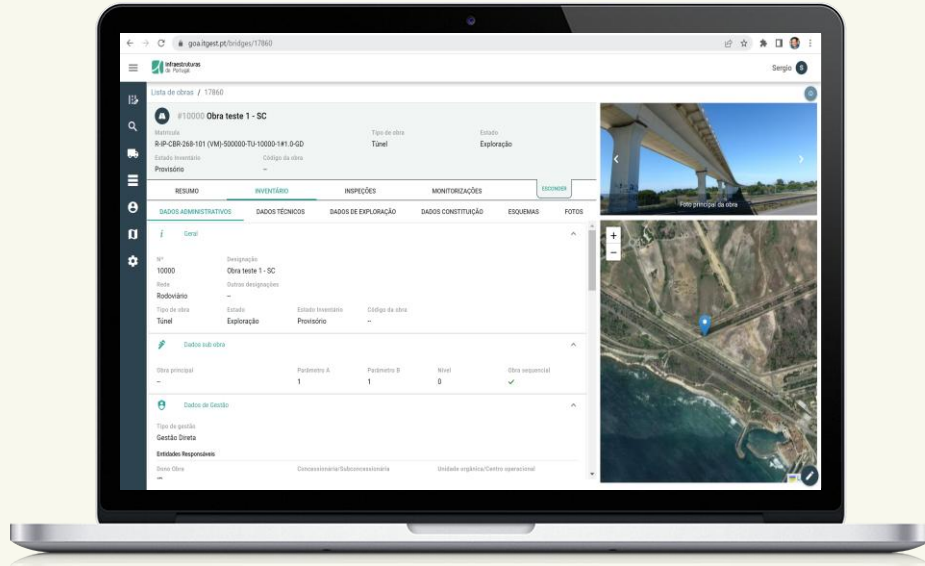
03.

**Portugal (GOA)**

O GOA é o padrão nacional, criado em 1997 pela Betar

Contexto

# Sistema GOA



## 27 anos

De experiência acumulada

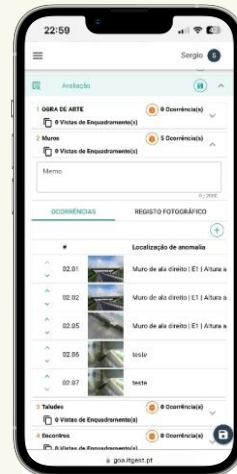
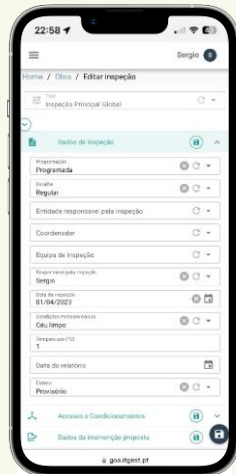
## + 20 000

Pontes geridas com apoio do sistema

## 90%

das obras de arte a cargo da IP apresentam um estado de conservação que varia entre o Bom e o Razoável

(<https://www.infraestruturasdeportugal.pt/pt-pt/inspecionado-o-estado-de-conservacao-de-6200-obras-de-arte>)





Um troço de 200 m da ponte Morandi ruiu com o tráfego intenso em agosto de 2018 // REUTERS, Stefano Rellandini



Queda da Ponte de Tocantis (Juscelino Kubitschek de Oliveira, Dezembro 2024)

# Necessidades de melhoria

01.

## Parte do processo ainda não era digital

O trabalho de campo estava ainda baseado na recolha da informação em papel e áudio, obrigando à transcrição posterior da informação para o software de gestão



02.

## Formato da recolha de dados inadequado

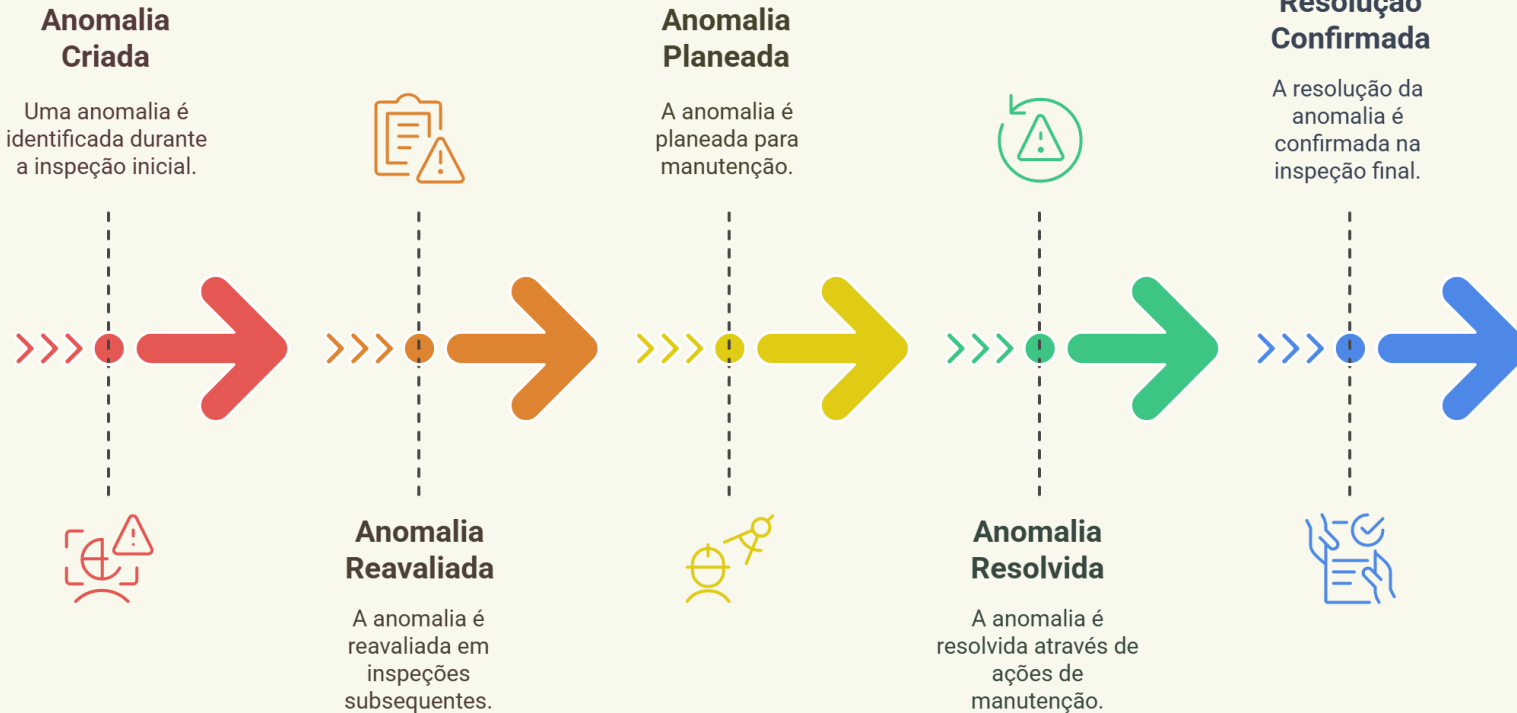
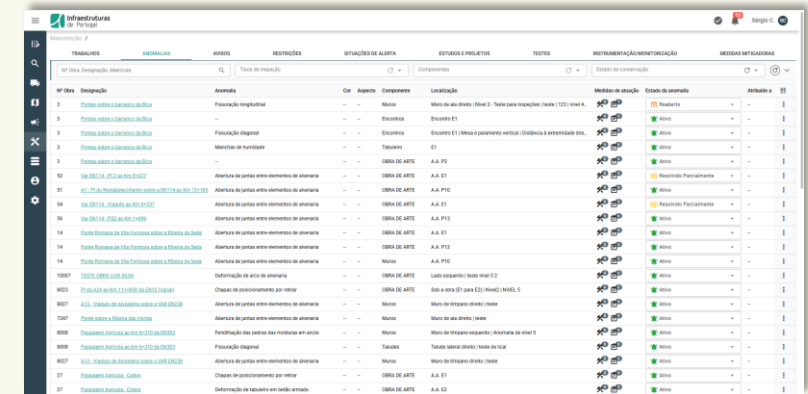
contexto tecnológico e evolução dos processos a jusante da inspeção dão origem a novas necessidades e oportunidades



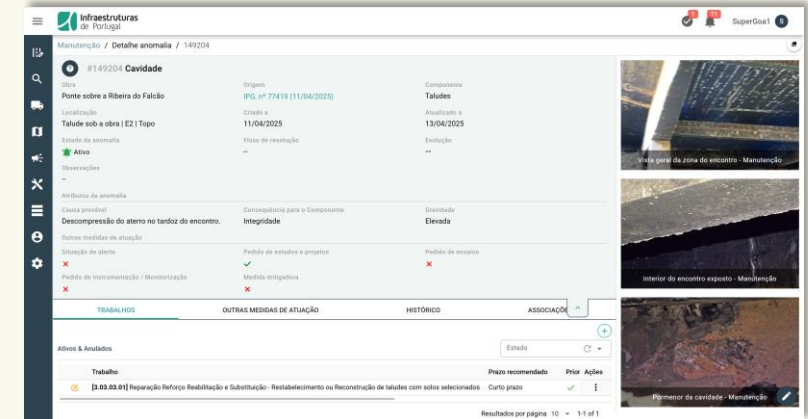
MEDIDAS DE ACTUAÇÃO		Medidas de avaliação					
Componente	Anomalia	Trabalho de reparação	Trabalho de manutenção	Aviso	Avaliação Técnica/Económica	Acompañamento	Estado IP
Escultura	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aplic. Impermeabiliz.	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Taludeiro	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Concreto	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Queda de peças	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reparação de via	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Drenagem	-	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

# Digitalização e foco nos dados

## Ciclo da Anomalia - Reavaliação de Anomalias em inspeções subsequentes

Nº Obra	Designação	Anomalia	Cri	Aspecto	Componente	Localização	Medidas de atuação	Estado de anomalia	Atividade
1	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Fluxação irregular	-	Muro	Muro de alvenaria (Muro 3 - Torre para inspeção (torre 100) - mal 4.			Ativo	
2	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Fluxação irregular	-	Muro	Escotilha E1			Ativo	
3	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Fluxação irregular	-	Muro	Escotilha E1 (Vela e pavimento vertical (direção à interioridade etc.			Ativo	
4	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Movimento horizontal	-	Talude	E1			Ativo	
5	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Movimento horizontal	-	Muro	OBRA DE ARTE	A.A. P10		Ativo	
52	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Abertura de juntas entre elementos de alvenaria	-	Muro	OBRA DE ARTE	A.A. E1		Ativo	
53	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Abertura de juntas entre elementos de alvenaria	-	Muro	OBRA DE ARTE	A.A. P10		Ativo	
54	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Abertura de juntas entre elementos de alvenaria	-	Muro	OBRA DE ARTE	A.A. E1		Ativo	
56	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Abertura de juntas entre elementos de alvenaria	-	Muro	OBRA DE ARTE	A.A. P10		Ativo	
14	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Abertura de juntas entre elementos de alvenaria	-	Muro	OBRA DE ARTE	A.A. E1		Ativo	
14	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Abertura de juntas entre elementos de alvenaria	-	Muro	OBRA DE ARTE	A.A. P10		Ativo	
14	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Abertura de juntas entre elementos de alvenaria	-	Muro	OBRA DE ARTE	A.A. P10		Ativo	
14	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Abertura de juntas entre elementos de alvenaria	-	Muro	OBRA DE ARTE	A.A. P10		Ativo	
1987	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Deformação de arco de alvenaria	-	Muro	OBRA DE ARTE	Lado esquerdo (torre mal 12		Ativo	
8023	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Chapas posicionamento por retirar	-	Muro	OBRA DE ARTE	Barragem (Torre E1) (Vela E1) (Nivel 5		Ativo	
8027	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Abertura de juntas entre elementos de alvenaria	-	Muro	Muro de alvenaria (torre			Ativo	
7247	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Abertura de juntas entre elementos de alvenaria	-	Muro	Muro de alvenaria (torre			Ativo	
8006	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Paralisação das juntas das frestas em arco	-	Muro	Muro de alvenaria (torre) (torre mal 1			Ativo	
8006	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Fluxação irregular	-	Talude	Talude lateral direito (torre mal 10)			Ativo	
8027	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Abertura de juntas entre elementos de alvenaria	-	Muro	Muro de alvenaria (torre			Ativo	
87	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Chapas posicionamento por retirar	-	Muro	OBRA DE ARTE	A.A. E1		Ativo	
27	OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE BARRAGEM	Deformação de taludes em talude externo	-	Muro	OBRA DE ARTE	A.A. E1		Ativo	



**Manutenção / Detalhe anomalia / 149204**

**#149204 Cavidade**

Origem: IRL nº 27419 (11/04/2025)  
Localização: Talude sob a obra I E2 | Tipo: Taludes

Atualizado a: 13/04/2025

Estado de anomalia: Ativo

Fluxo de resolução: --

Observações: --

Atributos de anomalia:

- Causa imediata: Descompressão do atmo no tardo do encontro.
- Consequência para o Componente: Integridade
- Gravidade: Elevada

Outras medidas de situação:

- Situação de alerta: Proibição de estudos e progressos
- Proibição de instrumentação / Monitorização: Medição restritiva
- Medidas de atuação: Proibição de acesso

TRABALHOS: ATIVOS & ANULADOS

Trabalho: [3.03.03.01] Reparação Reforço Reabilitação e Substituição - Restabelecimento ou Reconstrução de taludes com solos selecionados

Estado: Ativo

Plazo recomendado: Curto prazo

Prior: Ativas

Resultados por página: 10 - 1 of 1

# Projeto para testar novas soluções

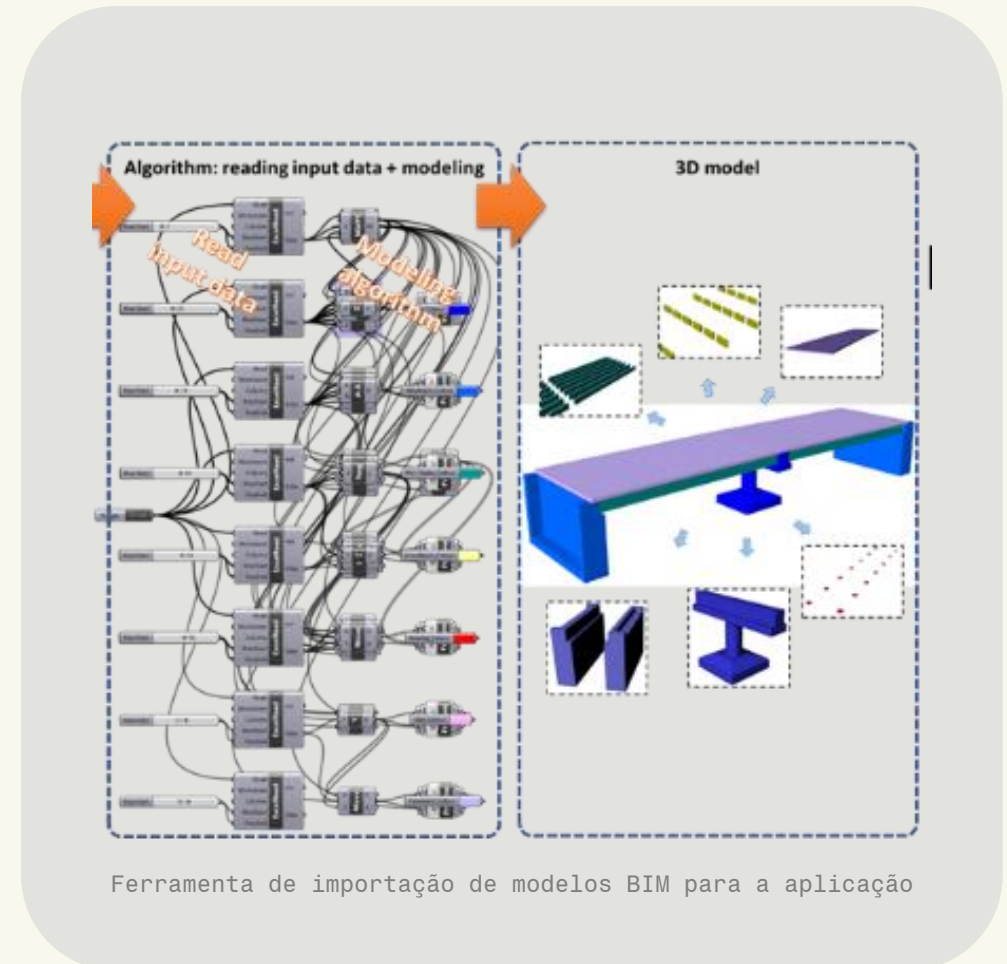
GOA.Bridge Intelligence

- 01 Ferramenta de importação de modelos BIM
- 02 Construtor de modelos 3D (quando os modelos BIM não estão disponíveis)
- 03 Aplicação móvel de inspeção 3D
- 04 IA para deteção de anomalias
- 05 Aplicação de realidade aumentada
- 06 Previsão da degradação e de otimização da manutenção



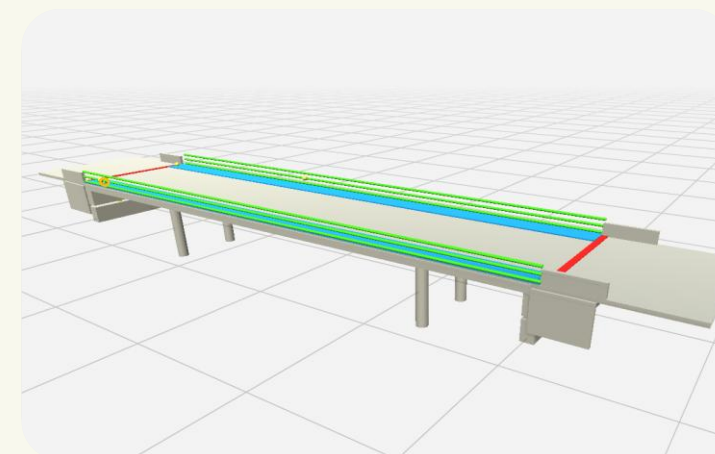
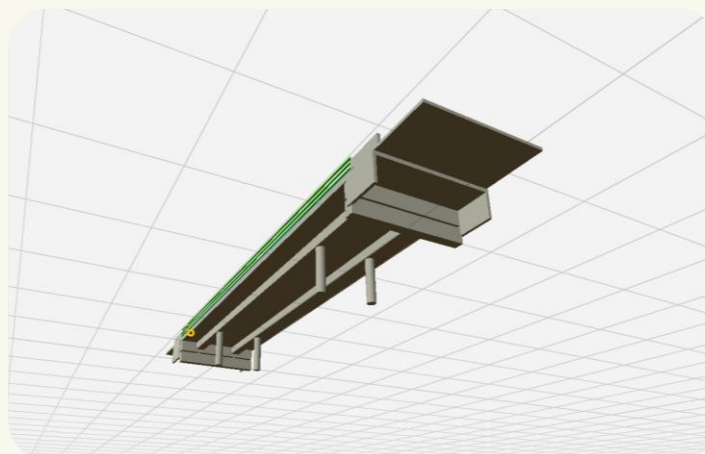
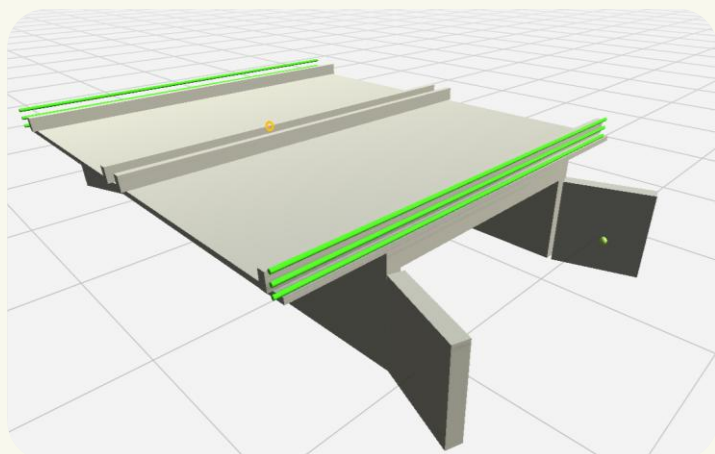
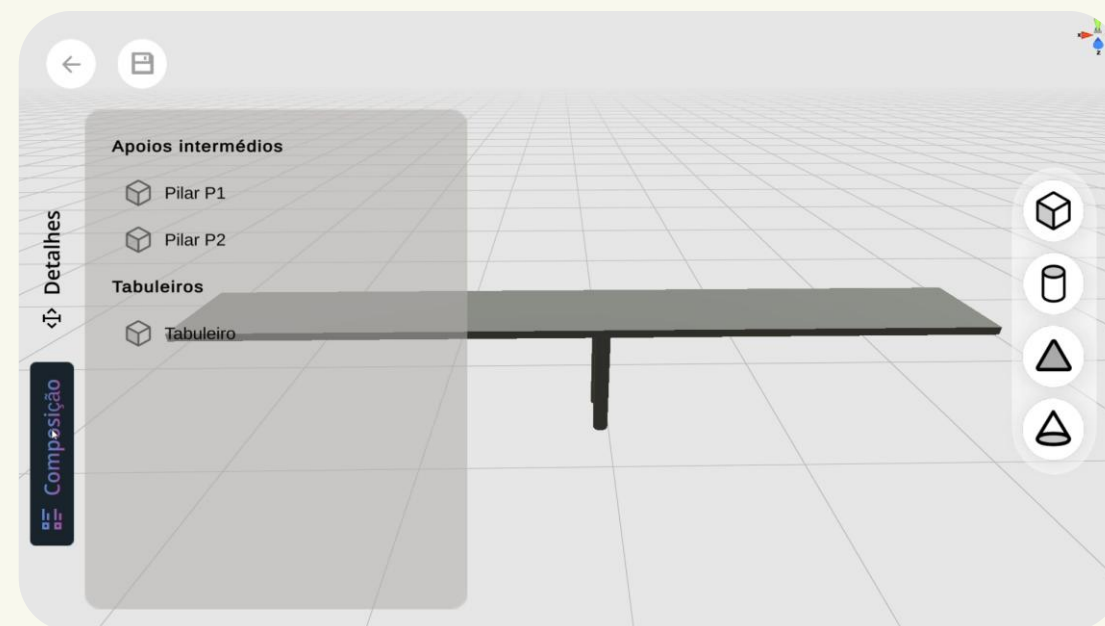
# 01 Ferramenta de importação de modelos BIM

- Baseado no formato padrão IFC
- Utiliza o IfcOpenShell-python e ferramentas algorítmicas comerciais para modelação digital 3D
- Suporta diferentes níveis de detalhe (LOD200 a LOD300)



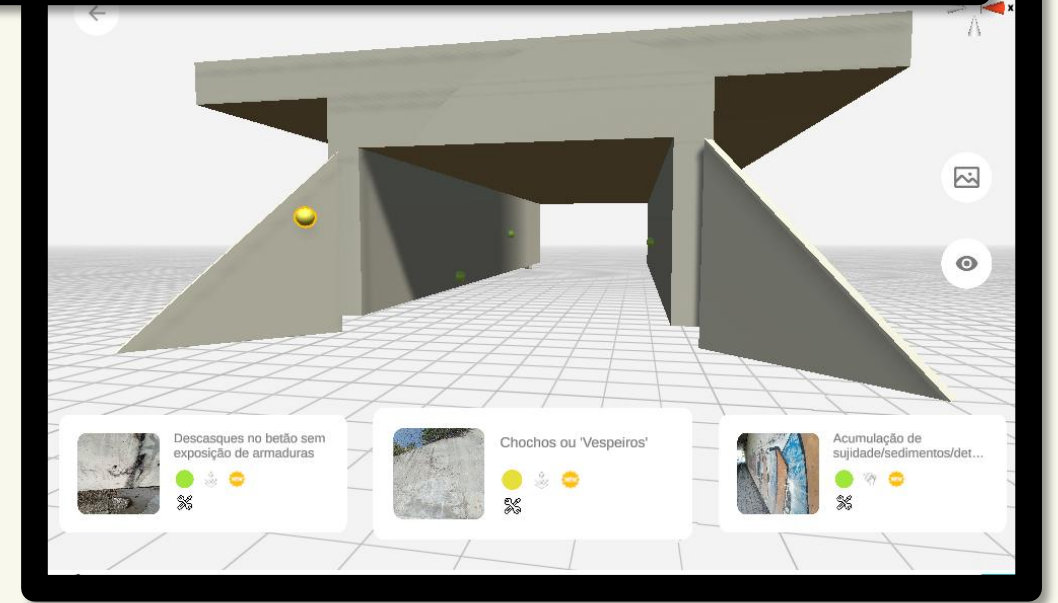
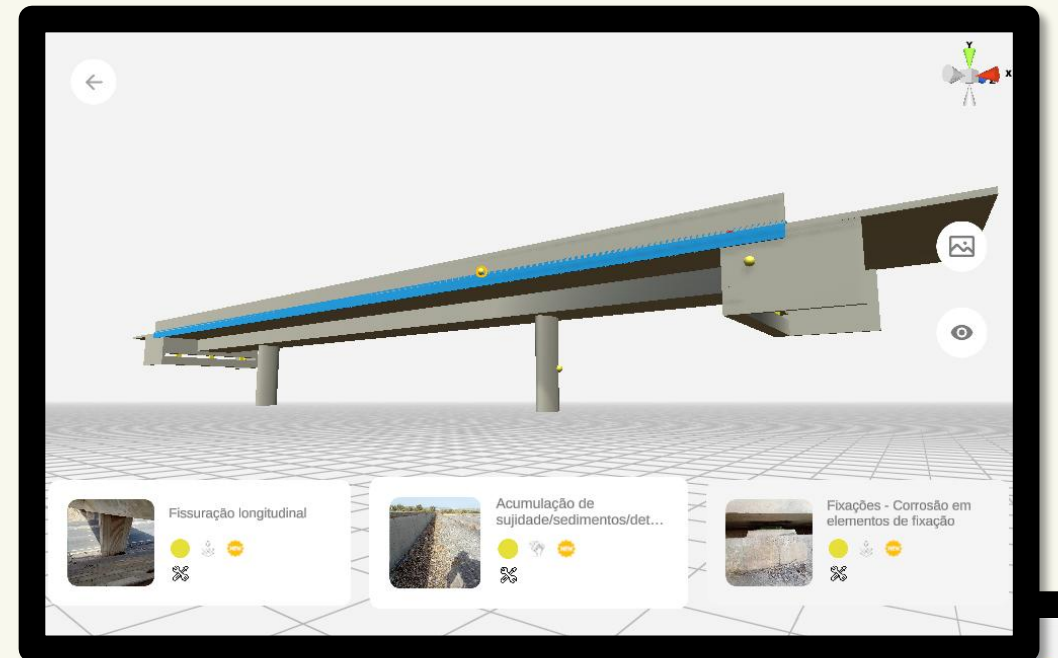
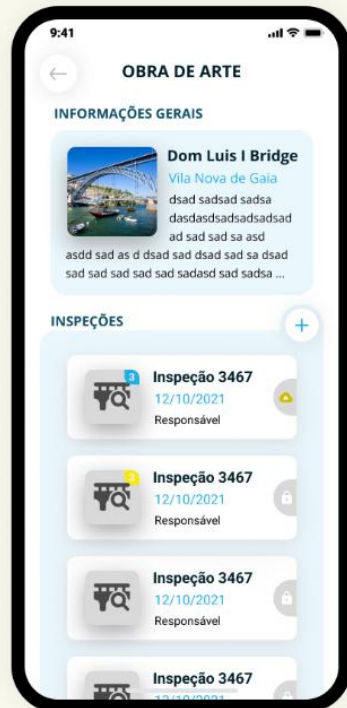
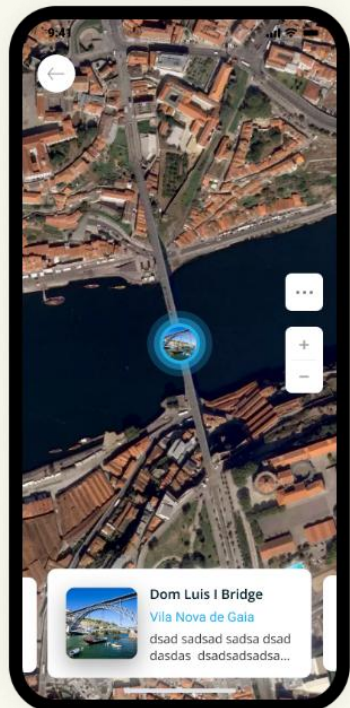
## 02 Ferramenta para criar modelos 3D

- Curva de aprendizagem muito baixa
- Modelo simplificado ideal para atividades de inspeção e manutenção
- Suporta a exportação para vários formatos



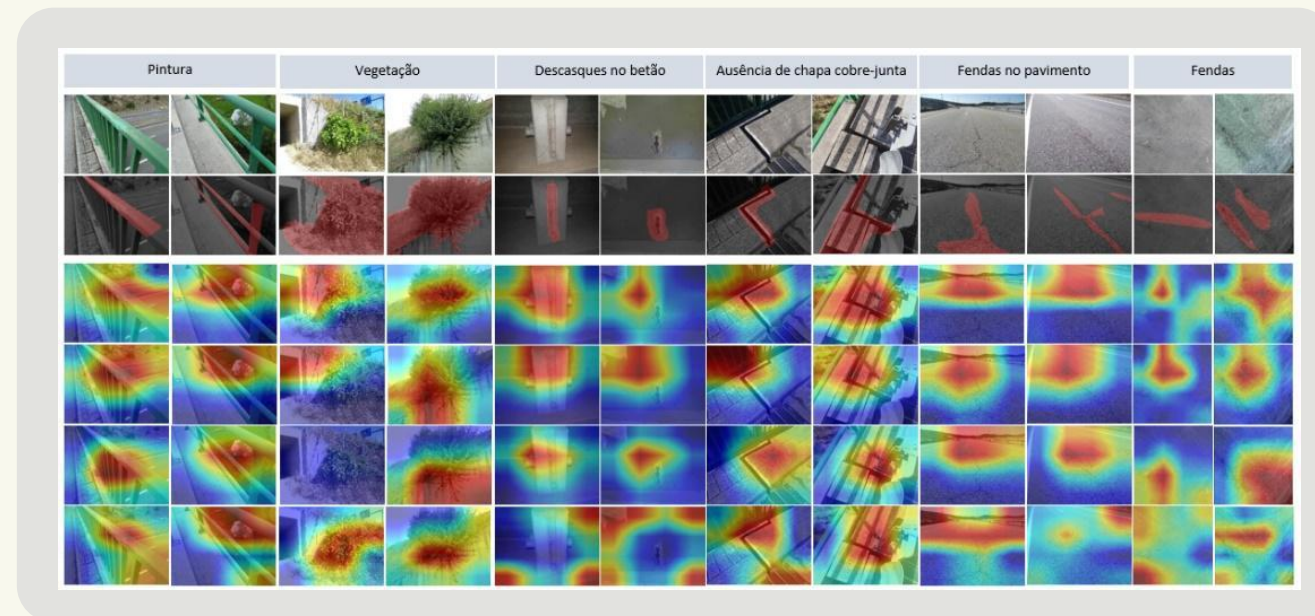
## 03 Aplicação móvel de inspeção 3D

- Mais Fiável
- Recolha de dados mais rica
- Mais Rápido



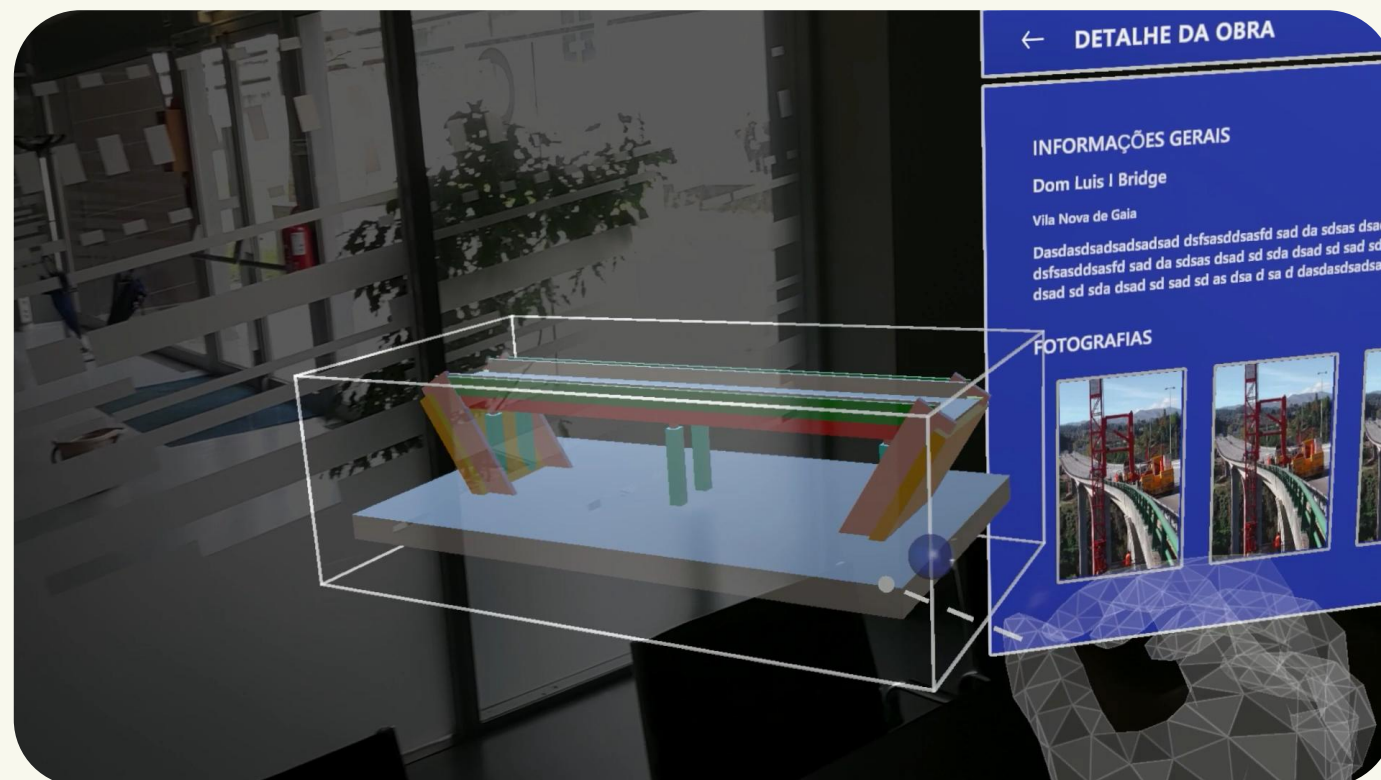
## 04 IA para deteção de anomalias

- Treinado com mais de 22 000 imagens
- Ferramenta de confirmação da anomalia identificada
- 6 tipologias de anomalias mais comuns
- Circuito de feedback para treino contínuo do algoritmo



# 05 Módulo de Realidade Aumentada

- HoloLens 2 como plataforma de destino
- Interação de modelos 3D com resultados de inspeção sobrepostos
- Visualização mais rica do resultado da inspeção
- Análise histórica das inspeções



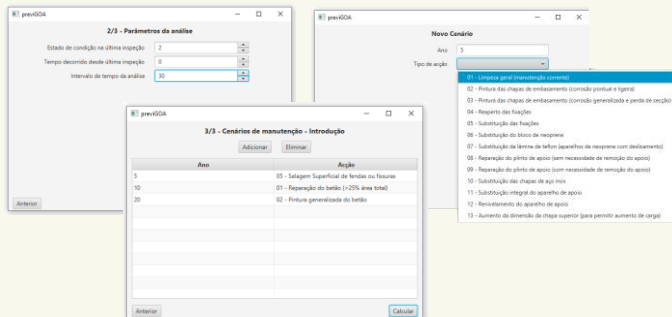
# 06 Ferramenta de Previsão e Otimização da Manutenção

## 3 Funcionalidades

01.

### Modelos Probabilísticos (Markov)

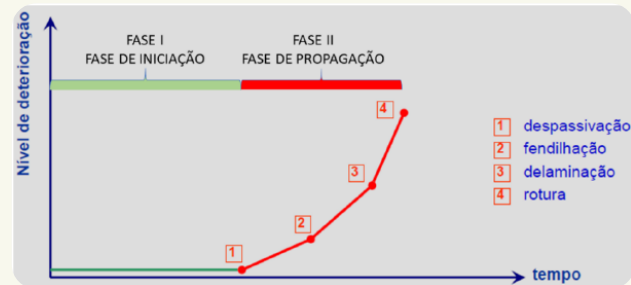
Previsão baseada no histórico de degradação registado na base de dados



02.

### Modelos Físicos

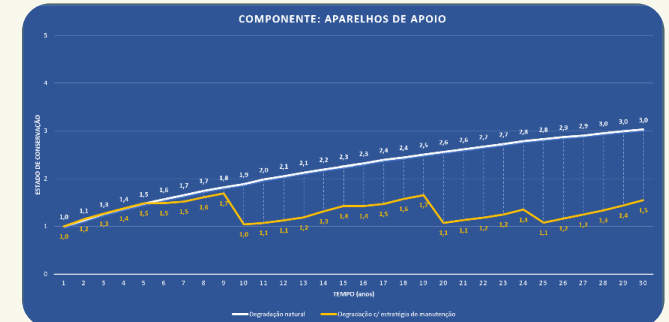
Ferramenta baseada em fenómenos físicos, prevendo corrosão por carbonatação e cloretos



03.

### Otimização da estratégia de manutenção

Determinar as estratégias menos dispendiosas durante o período de análise



# Principais Resultados

Aplicação do protótipo numa AE nacional



Experiência Visual e Interativa melhorada



Informação precisa e contextual da localização do defeito



Criação de um gémeo digital da manutenção



Melhoria da partilha e interpretação dos resultados das inspeções



Benefícios também em atividades de planeamento e manutenção



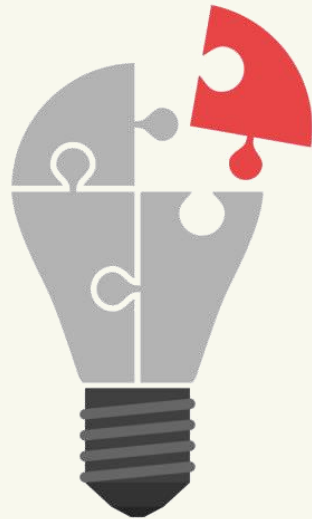
Elevados níveis de satisfação reportados pelos utilizadores



Globalmente mais rápido, com maior quantidade e qualidade de dados recolhidos



# Lições aprendidas



- 01 Design centrado no utilizador
- 02 Equilíbrio Rapidez vs. Dados
- 03 Instabilidade devido a imaturidade tecnológica
- 04 Tecnologia não substitui engenheiros
- 05 Decisão informada  $\neq$  decisão automática
- 06 Manter a simplicidade

# Continuar a Inovar

Plataforma 3D fotorealista para inspeção em escritório (web).

## Diagnóstico e Avaliação da Anomalia suportada por Agentes de IA Especializados (baseados em RAG)

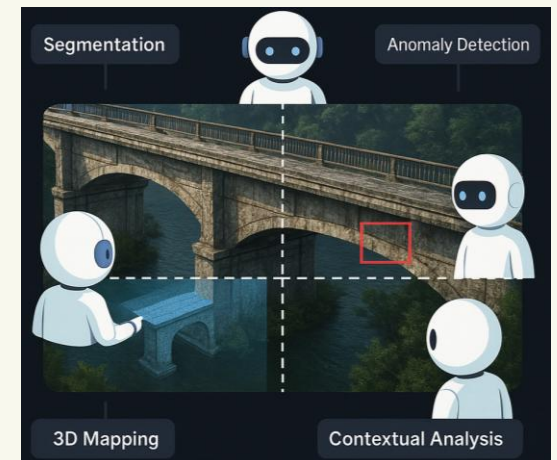
Segmentação, deteção de anomalias por CNN e LLM, diagnóstico integrado, reconstrução 3D – coordenados por um agente central.

## Sensorização de curta duração suportada por IoT e Redes Neurais

Modelos híbridos (1D-CNN + GRU + LSTM) para análise e previsão da degradação

## Interface baseada em Assistente conversacional (IA generativa)

Interação por voz e texto, com respostas contextuais, recomendações técnicas e apoio à decisão.





Obrigado.

[scosta@betar.pt](mailto:scosta@betar.pt)

