



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Gabriel Junior de Brito Sousa

Implementação BIM no contexto de inspeção  
e gestão da manutenção de Obras de Arte em  
betão armado: proposta de metodologia e  
aplicação piloto





Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Gabriel Junior de Brito Sousa

Implementação BIM no contexto de inspeção  
e gestão da manutenção de Obras de Arte em  
betão armado: proposta de metodologia e  
aplicação piloto

Dissertação de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do  
Professor Doutor Miguel Ângelo Dias Azenha  
Professor Doutor José Campos e Matos

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor Miguel Ângelo Dias Azenha, por todo o apoio, orientação, conhecimento partilhado, e pela contante disponibilidade ao longo deste trabalho.

Ao meu coorientador, Professor Doutor José Campos e Matos, pela sua disponibilidade, apoio, conselhos e pela colaboração no solucionar de dúvidas.

À BETAR, que, em colaboração com a Universidade do Minho, teve a amabilidade de contribuir para que uma parte desta dissertação ocorresse em ambiente de empresa com a realização de um estágio.

Ao Engenheiro Vítor Brito, por toda a ajuda, partilha de conhecimento e informação acerca dos processos de inspeção e gestão da manutenção nas obras de arte.

À minha família, pelos seus sacrifícios, suporte, conselhos e afeto sempre constante ao longo do meu caminho académico.

À Cindy Cerqueira, por todos os momentos passados em conjunto, por todo o carinho e amor, e pelo apoio incondicional, um agradecimento especial pela pessoa que é.

A toda a equipa de docentes do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho por toda a disponibilidade e acompanhamento prestado ao longo destes cinco anos académicos.

Ao Engenheiro Marco Lima pela colaboração nos levantamentos com VANT que se realizaram, conforme consta nesta dissertação, e pelo apoio fornecido no tratamento dos dados.

À Leica Geosystems Portugal, em particular ao Engenheiro Luís Santos, responsável pela realização do varrimento '*laser scanning*' da ponte do Saltadouro.

E, por fim, mas não menos importante, à Dra. Albertina Fernandes, por toda a dedicação e atenção que teve com esta dissertação.



## RESUMO

Os trabalhos reportados nesta dissertação versam uma análise das possibilidades e desafios decorrentes do uso de técnicas 'Building Information Modelling' (BIM) no contexto da inspeção e manutenção de obras de arte de betão armado. O trabalho divide-se em três componentes fundamentais:

1) Exploração de novas tecnologias para inspeção para apoio na obtenção de informação relevante para a modelação geométrica e de informação adicional. As técnicas incluem o recurso a estação laser scanner e laser scanner de mão, uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) e fotografias 360°. Naturalmente, são abordadas outras metodologias mais correntes como a extração de carotes, deteção de armaduras (métodos magnéticos e de georadar), análise de carbonatação, imagem termográfica, análise com esclerómetro, etc.;

2) Estabelecimento de metodologias de modelação em software BIM, tendo em conta a orientação do modelo para gestão da manutenção. Definem-se processos e metodologias de modelação de informação e geometria, com particular ênfase à necessidade de criação de objetos específicos para inclusão da informação de danos e extração de amostras, entre outros. O modelo está também capacitado para registo cumulativo de informação e permissão de análise comparativa entre dados de inspeções consecutivas;

3) Aplicação a caso de estudo de ponte em betão armado localizada no Gerês.

**Palavras-chave:** Building Information Modelling (BIM); Obras de Arte; Inspeção; Manutenção.



## **ABSTRACT**

The work reported in this dissertation is an analysis of the possibilities and challenges arising from the use of Building Information Modelling (BIM) techniques in the context of the inspection and maintenance of reinforced concrete bridges and special structures. The work is divided into three fundamental components:

- 1) Exploring the use of new technologies for inspection for support obtaining information relevant to geometric modeling and additional information. The techniques include the use of laser scanner fixed and laser scanner portable, use of unmanned aerial vehicles (UAV) and 360° photos. Of course, other more standard methodologies such as extraction of cores, rebar detection (magnetic and georadar methods), carbonation analysis, thermographic imaging, sclerometer analysis, etc.;
- 2) Establishment of modeling methodologies in BIM software, taking into account the orientation of the model for maintenance management. Processes and methodologies for modeling information and geometry are defined, with particular emphasis on the need to create specific objects for inclusion of damage information and sample extraction, among others. The model is also capable of cumulative registration of information and permission of comparative analysis between data from consecutive inspections;
- 3) Application to case study of reinforced concrete bridge located in Gerês.

**Keywords:** Building Information Modeling (BIM); Bridge; Inspection; Maintenance.





## ÍNDICE

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	iii
Abstract.....	v
Índice .....	vii
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas .....	xvii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xix
Capítulo 1. Introdução .....	1
Capítulo 2. Inspeção de obras de arte em betão armado e os desafios oferecidos pelas novas tecnologias.....	5
2.1 Aspetos gerais sobre Obras de Arte .....	5
2.1.1 Designações .....	5
2.1.2 Tipologia e sistemas estruturais.....	6
2.1.3 Componentes mais comuns das Obras de Arte.....	6
2.1.4 Ciclo de vida .....	8
2.2 Sistemas de Gestão de Obras de Arte .....	10
2.3 Procedimento tradicional de inspeção.....	13
2.3.1 Inventário .....	18
2.3.2 Inspeção de Rotina.....	19
2.3.3 Inspeção Principal.....	20
2.3.4 Inspeção Especial.....	21
2.3.5 Inspeção Subaquática.....	22
2.4 Técnicas de inspeção.....	23
2.4.1 Técnicas tradicionais.....	24
2.4.2 Novas tecnologias .....	24
2.5 Building Information Modelling aplicado nas inspeções.....	38
2.5.1 O conceito BIM .....	38
2.5.2 O BIM FM em edifícios.....	39
2.5.3 Aplicação em Obras de Arte.....	40
Capítulo 3. Acompanhamento de casos práticos em inspeções.....	43
3.1 Análise e acompanhamento do processo atual de inspeções na BETAR.....	43

3.1.1	Enquadramento geral da inspeção, estratégias e técnicas .....	44
3.1.2	Resultados produzidos.....	48
3.2	Inspeção da Ponte em Ruivães .....	49
3.2.1	Enquadramento geral, estratégias e técnicas .....	49
3.2.2	Identificação de patologias e respetivo levantamento.....	51
Capítulo 4.	Aplicação de novas tecnologias em inspeção .....	59
4.1	Laser Scanning .....	59
4.1.1	Análise de resultados de inspeção da Ponte do Saltadouro com recurso a estação laser .....	59
4.1.2	Comparação de laser scanner de mão com estação laser .....	63
4.1.3	Conclusões .....	67
4.2	VANT e Fotogrametria.....	68
4.2.1	Ponte de São Miguel de Arcos .....	68
4.2.2	Pontão de Barcelos .....	73
4.2.3	Conclusões .....	79
4.3	Fotografia 360° .....	79
4.3.1	Conclusões .....	81
Capítulo 5.	Proposta de aplicação de metodologias bim para gestão de informação de inspeção de obras de arte.....	83
5.1	Enquadramento estratégico.....	83
5.2	Proposta de Regras de modelação .....	85
5.3	Proposta LOD .....	89
5.4	Desenvolvimento de aplicação em Revit.....	91
5.4.1	Shared Parameters .....	93
5.4.2	Project Parameters.....	96
5.5	Caso de estudo (Modelo Revit Ponte Saltadouro).....	98
5.5.2	Modelação da geometria, incluindo nuvens de pontos .....	99
5.5.3	Modelação das armaduras .....	100
5.5.4	Modelação e introdução de informação adicional da inspeção .....	101
5.5.5	Extração de informação relevante do modelo BIM .....	106
Capítulo 6.	Conclusões .....	111
6.1	Considerações gerais e particulares .....	111
6.2	Desenvolvimentos futuros .....	114
REFERÊNCIAS	.....	117

Anexo I – Fichas de trabalho de manutenção, lista de anomalias, trabalhos de reparação da betar.....	123
Anexo II – Levantamento fotográfico completo da superfície interior da viga esquerda do vão.....	127
Anexo III – Regras de modelação modelo bim – inspeção e gestão da manutenção em obras de arte de betão armado.....	131
Anexo IV – Informação das inspeções associada aos objetos de modelo bim.....	139
Anexo V – Fluxograma do processo de inspeção em modelo bim em obras de arte de betão armado.....	141
Anexo VI – Proposta nível de desenvolvimento modelo bim – inspeção e gestão da manutenção em obras de arte de betão armado .....	143
Anexo VII – Informação que pode vir a ser recolhida durante uma inspeção.....	155
Anexo VIII – Relatórios com mapeamento de patologias – Betar e Universidade do Minho.....	157



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-Colapso Ponte Hintze Ribeiro, Entre-os-Rios (2001).....	1
Figura 2-Tipologias de ponte segundo o seu sistema estrutural (Manterola e Cruz 2004) .....	6
Figura 3-Principais componentes das pontes (Costa,2009).....	7
Figura 4-Fluxograma do ciclo de vida de uma ponte (adaptado de Ryal,2000).....	10
Figura 5-Extrato de um formulário tipo usado em inspeções (EP,2015).....	17
Figura 6-Percurso de inspeção numa passagem superior EP (2015).....	18
Figura 7-Nuvem de pontos com densidade elevada realizada com laser scanning (Leica ScanStation P40).....	25
Figura 8-Delaminação de tijolos e deterioração das juntas detetadas a partir do varrimento laser scanning (Al-Neshawy, Piironen, Peltola, & Puttoten, 2009).....	26
Figura 9-Lasers estáticos (a) Leica ScanStation P40; (b) FARO Focus 350.....	27
Figura 10-Leica Pegasus: Backpack.....	28
Figura 11-NavVis M3 Trolley.....	29
Figura 12-ZebRevo (a); BLK 360 (b).....	29
Figura 13-Comparação BLK360 (a) vs P40 (b).....	30
Figura 14-Imagem termográfica BLK360 (a); P40 (b).....	30
Figura 15-Dispersão da nuvem de pontos BLK360 (a); P40 (b).....	31
Figura 16-Dispersão dos pontos em seção transversal BLK360 (a); P40 (b).....	31
Figura 17-RABITTM.....	32
Figura 18-SenseFly albris.....	35
Figura 19-Ricoh Theta (a); Samsung Gear 360° (b); GoPro Fusion (c).....	37
Figura 20-Software Pano2VR.....	38
Figura 21-Software KR pano.....	38
Figura 22-Passagem inferior A24.....	44
Figura 23-Historial de inspeções anteriores da passagem inferior na A24.....	45
Figura 24-Ficha de campo e fichas auxiliares BETAR (a); Régua de medir fissuras BETAR (b).....	46
Figura 25- Extrato dos relatórios de inspeção de rotina (a) e inspeção principal (b) da passagem inferior – GOA.....	48
Figura 26-Fotografia do aspeto geral da Ponte do Saltadouro.....	50

Figura 27-Distanciómetro laser Hilti PD5 .....	51
Figura 28-Nuvem de pontos vista em planta (a) e vista tridimensional (b) com identificação da localização das estações a partir do qual foi efetuado o levantamento com 'laser scanner'.....	51
Figura 29-Corrosão e delaminação parcial na face lateral da viga (a) e na face inferior da laje (b) .....	52
Figura 30-Fotografia (a) de imagem termográfica e (b) de delaminação na face inferior da laje .....	53
Figura 31-Colonização biológica no encontro (a), na zona de apoio das vigas (b) e nos acrotérios do encontro (c).....	53
Figura 32-Três fotografias consecutivas obtidas no levantamento da viga esquerda .....	54
Figura 33-Imagem do microscópio ótico numa fenda da viga esquerda do vão com ampliação de 20x.....	55
Figura 34-Algumas das fendas observadas na face interior da viga esquerda do vão .....	55
Figura 35-Equipamento para deteção de armaduras - Hilti PS200 .....	56
Figura 36-Equipamento para deteção de armaduras - Hilti PS1000 .....	56
Figura 37-Inspeção de face inferior de viga em curso com o detetor Hilti PS1000 .....	56
Figura 38-Imagem resultante do processo de deteção na face inferior da viga esquerda a meio vão .....	57
Figura 39 - Janelas de inspeção: J1, J2, J3 .....	57
Figura 40-Fotografia 360° da Ponte do Saltadouro .....	58
Figura 41-Perspetivas da nuvem de pontos da Ponte do Saltadouro em software RECAP .....	60
Figura 42-Dispersão da nuvem de pontos em corte vertical do tabuleiro da Ponte do Saltadouro.....	61
Figura 43-Empenamentos nas vigas longitudinais do tabuleiro.....	61
Figura 44-Medidas principais da ponte na sua direção longitudinal efetuadas com fita métrica e distanciómetro [m].....	62
Figura 45-Medidas principais da ponte na sua direção longitudinal efetuadas diretamente na nuvem de pontos [m] .....	62
Figura 46-Identificação da deformada num dos trechos do tabuleiro .....	63
Figura 47-Deformada analítica com recurso a Excel (0.0259m) [m] .....	63
Figura 48-Estacionamentos do 'laser scanner' dos quais se procedeu ao levantamento na Universidade do Minho .....	64

Figura 49-Nuvem de pontos em software RECAP captada com ScanStation P40 [m]..	64
Figura 50-Nuvem de pontos em software RECAP captada com Zeb-Revo [m].....	65
Figura 51-Nuvem de pontos em software REVIT (a) Zeb-Revo; (b) ScanStation P40 .	65
Figura 52-Seção transversal vista em planta de um pilar comum em ambas as nuvens de pontos a 1m de altura do chão (a) Laser scanner de mão; (b) Estação laser scanner .....	66
Figura 53-Distância em planta entre dois pilares para ambas as nuvens a) Laser scanner de mão; (b) Estação laser scanner [mm].....	66
Figura 54-Vista em planta da dispersão dos pontos de uma parede comum a) Laser scanner de mão; (b) Estação laser scanner.....	66
Figura 55-Drone DJI Phantom 3S .....	68
Figura 56-Planeamento do voo para efetuar o levantamento geométrico da ponte medieval .....	69
Figura 57-Posicionamento das fotografias obtidas no voo.....	70
Figura 58-Nuvem de pontos densa .....	70
Figura 59-Modelo 3D com texturas.....	71
Figura 60-Ortofoto .....	71
Figura 61-Levantamento com fita métrica de medidas da ponte medieval em Arcos....	72
Figura 62-Medidas realizadas na nuvem de pontos da ponte medieval em Arcos .....	72
Figura 63-Identificação dos postes e rede elétrica de média tensão .....	73
Figura 64-Organização das fotografias das fiadas da face inferior do tabuleiro .....	76
Figura 65-Fotogramateria da face lateral norte - DJI (a); Fotogrametria da face lateral sul - iPhone 6Plus (b) .....	77
Figura 66-Largura do vão (10m) .....	78
Figura 67- Passeio 0.72m (a); betuminoso 1.23m (b).....	78
Figura 68-Medidas obtidas na nuvem de pontos (m) .....	78
Figura 69-Lentes olho de peixe em oposição Ricoh Theta.....	80
Figura 70-Hotspot e os seus parâmetros .....	81
Figura 71-Perspetiva da face inferior do tabuleiro com a respetiva informação associada .....	81
Figura 72-Estrutura de suporte em pontes existentes e pontes novas perante o tipo de inspeção .....	84
Figura 73-Regras de modelação para o tabuleiro .....	85
Figura 74- Objetos com representação explícita da geometria: carote (a), janela de inspeção(b) e fenda (c); Objetos com representação simbólica: patch (d) .....	86



Figura 75-Informações das inspeções associada aos objetos do modelo BIM – Software Revit .....	88
Figura 76-Fluxograma do processo de inspeção em modelo BIM em obras de arte de betão armado .....	88
Figura 77-LOD Bridge 300 e LOD Bridge 400 para um tabuleiro .....	90
Figura 78-Informação que pode vir a ser recolhida durante uma inspeção .....	91
Figura 79-Algoritmo do aplicativo Shared Parameters .....	94
Figura 80-Tabela Excel para introduzir informação recolhida nas inspeções .....	94
Figura 81-Dynamo Player .....	95
Figura 82-Shared Parameters (Dynamo Player).....	95
Figura 83-Informação adicionada com recurso a aplicação Shared Parameters .....	96
Figura 84-Algoritmo do aplicativo Project Parameters.....	96
Figura 85-Project Parameters (Dynamo Player) .....	97
Figura 86-Manage Images (Revit) .....	97
Figura 87-Visão global 3D do modelo .....	99
Figura 88-Sobreposição entre o modelo BIM e o levantamento laser scanning ao nível da secção transversal da ponte .....	100
Figura 89-Visão global das armaduras modeladas no tabuleiro .....	101
Figura 90-Aspetos das várias armaduras existentes na vizinhança do meio vão .....	101
Figura 91-Carotes no modelo BIM: (a) no pilar; (b) no tabuleiro; informação recolhida na inspeção associada as propriedades de uma carote (c) .....	102
Figura 92-Janelas de inspeção no modelo BIM .....	102
Figura 93-Representação de duas fendas num troço de viga do modelo .....	103
Figura 94-Datas de inspeção associadas ao modelo BIM .....	103
Figura 95-Identificação de anomalias por Patch no modelo BIM (a) corrosão; (b) colonização biológica .....	104
Figura 96-Informação das patologias organizada em tabela no Revit .....	105
Figura 97-Sobreposição direta da fotogrametria no modelo BIM .....	105
Figura 98-Acumulado das fotografias 360° associado a um objeto denominado de ‘Fotografia360°’ .....	106
Figura 99-Relatório Universidade do Minho do mapeamento de patologias na ponte do Saltadouro (Revit) .....	107
Figura 100-Relatório BETAR do mapeamento de patologias numa ponte em Fareja..	108

Figura 101-Vistas gerais do visualizador BIM: (a) comentários associados a objetos e localizações específicas do modelo; (b) propriedades de um elemento; (c) relatório de inspeção Revit.....	109
Figura 102-Foto da viga esquerda entre os 0 e os 2,5 metros.....	127
Figura 103-Foto da viga esquerda entre os 2 e 4,5 metros .....	127
Figura 104-Foto da viga esquerda entre os 4 e 6,5 metros .....	127
Figura 105-Foto da viga esquerda entre os 6 e 8,5 metros .....	128
Figura 106-Foto da viga esquerda entre os 8 e 10,5 metros .....	128
Figura 107-Foto da viga esquerda entre os 10 e 12,5 metros .....	128
Figura 108-Foto da viga esquerda entre os 12 e 14,5 metros .....	129
Figura 109-Foto da viga esquerda entre os 14 e 16,5 metros .....	129
Figura 110-Foto da viga esquerda entre os 16 e 18,5 metros .....	129



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1-Classificações EP (2015).....	16
Tabela 2- Comparação de resultados entre fita métrica (m) e nuvem de pontos (m) na ponte medieval em Arcos .....	72
Tabela 3-Resultados obtidos pelo voo automático autónomo .....	74
Tabela 4-Resultados obtidos pelo voo manual .....	75
Tabela 5-Resultados obtidos da face inferior do tabuleiro .....	76
Tabela 6-Comparação de resultados entre fita métrica (m) e nuvem de pontos (m) no pontão de Barcelos.....	78



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

2D – Bidimensional

3D – Tridimensional

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

AIA – American Institute of Architects

API – Application Programming Interface

ASCE – American Society of Engineering Civil

BEP – Bim Execution Plan

BETAR – Betar Consultores Lda

BIM – Building Information Modelling

cm – Centímetro

COBIE – Construction Operation Building Information Exchange

COBIM – Common BIM Requirements

EP – Estradas de Portugal

FPS – First Personal Shooter

GOA – Software de Gestão de Obras de Arte

GP – Gigapixel

GPR – Ground Penetrating Radar

GPS – Global Positioning System

HD – High Definition

HDR – High Dynamic Range

HTML – HyperText Markup Language

IE – Inspeção Especial

IFC – Industry Foundation Classes

IFMA – International Facility Management Association

IMU – International Measurement Unit

IP – Infraestrutura de Portugal

IP – Inspeção Principal

IR – Inspeção Rotina

JPEG – Joint Photographic Experts Group

kg – Quilograma

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LOD – Level of Development Specification

m – Metro

mm – Milímetro

MP – MegaPixel

REFER – Rede Ferroviária Nacional

RGB – Red, Green, Blue

SUSTIMS – Sustainable Infrastructure Management System

SWF – Shockwave Flash

URL – Uniform Resource Locator

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

## Capítulo 1. INTRODUÇÃO

O património das obras de arte de engenharia civil, depois de construído, tem de ser acompanhado ao longo da sua vida útil, de forma periódica e exaustiva, para que se possa garantir, simultaneamente, a segurança da sua estrutura e um adequado desempenho funcional. As ações de inspeção e de gestão da manutenção são fundamentais para que seja possível detetar atempadamente para situações de maior perigosidade, e possibilitar uma programação otimizada das intervenções necessárias a médio/longo prazo.

Existem, por vezes, acidentes comprovativos de que as obras de arte em causa tiveram falta de manutenção, de acompanhamento e de inspeções periódicas. Tal negligência pode ter repercussões muito graves na sociedade. Neste sentido, torna-se muito importante investir na sua manutenção. Portugal está consciente dessa importância, sobretudo a partir do trágico colapso da ponte centenária de Entre-os-Rios (Figura 1), que vitimou cinquenta e nove pessoas no Inverno de 2001, e com a queda da passagem superior para peões sobre o IC19, em setembro de 2003. Dois acontecimentos dramáticos que fizeram com que, a partir daí, a opinião pública, as entidades responsáveis pela gestão das vias e autoridades se voltassem para o assunto, de forma mais preocupada desde essa altura.

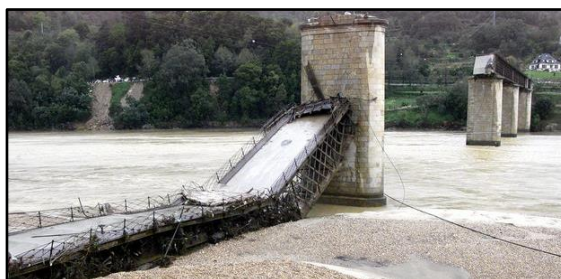


Figura 1-Colapso Ponte Hintze Ribeiro, Entre-os-Rios (2001)

As necessidades que as concessionárias de autoestradas em Portugal sentem na gestão de infraestruturas são as mesmas de qualquer outra zona do Mundo, nomeadamente, no cumprimento dos níveis de qualidade exigidos pelas respetivas entidades supervisoras. Portugal encontra-se, efetivamente, num nível de topo, no que respeita à temática da inspeção das obras de arte, tendo produzido vários manuais de especificações técnicas para inspeções. No nosso país, as obras de arte são maioritariamente geridas pelas Infraestruturas de Portugal (Infraestruturas de Portugal , 2017).



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

Ao mesmo tempo, tem havido já assinaláveis progressos no âmbito da gestão da manutenção em edifícios, destinados à utilização de tecnologias avançadas, quer de inspeção, quer de gestão da informação, exemplificando com técnicas como o laser scanning estático e de mão, a fotografia 360° para a criação de visitas virtuais, o uso de veículos aéreos não tripulados, e, ainda, o Building Information Modelling (BIM) como plataforma para a gestão dessas bases de dados.

Em vários contextos, a metodologia BIM tem sido usada em edifícios, mas, no contexto particular de inspeção em obras de arte, há pouca literatura, nomeadamente em Portugal, quase não existindo nenhuma referência a este tipo de novas tecnologias, em especial, do BIM.

Face às oportunidades de inclusão de informação melhorada através das novas tecnologias, e sendo o Building Information Modelling uma metodologia que permite que todo o modelo seja aproveitado e a informação seja recuperada de forma relevante ao longo do ciclo de vida do projeto, e tendo em conta a relevância do tema para a sociedade, a presente dissertação baseia-se no estudo da contribuição positiva do uso BIM na manutenção de obras de arte em betão armado, designadamente, na consulta da informação fornecida pelo modelo BIM e posterior atualização com dados relativos a inspeções efetuadas no local.

Para este efeito, torna-se necessária a elaboração de um plano de execução específico para o contexto de inspeções, integrado na metodologia BIM, agrupando a definição de todo um conjunto de processos e metodologias de modelação de informação, uma proposta de manuais de regras de modelação e ainda o estabelecimento de metodologias de modelação e introdução da informação em software BIM, tendo em conta a orientação do modelo para a gestão da manutenção.

Para a concretização dos objetivos desta dissertação, desenvolveu-se um trabalho em colaboração com a empresa BETAR, que contempla mais de quarenta anos de experiência na prestação de serviços em inspeções de pontes e edifícios, projetando-se uma solução inovadora para procedimentos futuros.

Foi inicialmente realizado um trabalho de acompanhamento de inspeções, com o intuito de entender a importância que assumem as inspeções nas obras de arte e como são realizadas.

Dentro das possibilidades, recorreu-se, ainda, a equipamentos tecnológicos para o levantamento geométrico de estrutura e, abordaram-se técnicas de inspeção para o desenvolvimento de trabalho, com a elaboração de um plano BIM composto por regras de modelação, processos e metodologias de modelação de informação e geometria. Desta forma, foi possível, assim, considerar a existência de um novo paradigma no faseamento das inspeções de obras de arte em betão armado.

Esta dissertação está organizada em seis capítulos, o primeiro dos quais correspondendo à presente Introdução, que contém o enquadramento, os objetivos principais e a organização do tema a desenvolver.

No segundo capítulo, apresentam-se as principais noções sobre as inspeções em obras de arte de betão armado, identificando-se os aspetos gerais e as ferramentas que permitem gerir todas as atividades de manutenção e conservação das estruturas de forma eficiente, bem como a identificação dos desafios oferecidos pelas novas tecnologias, para além das técnicas de inspeção mais tradicionais.

No terceiro capítulo, são descritos dois casos específicos de acompanhamentos práticos em inspeções, com o objetivo de analisar e compreender o processo atual que é realizado por parte de inspetores especializados na área, e ainda uma análise de dados recolhidos ao longo das inspeções. O primeiro caso prático será uma inspeção realizada em colaboração com a BETAR, de uma passagem inferior na A24 situada em Lamego; o segundo, incide sobre uma inspeção efetuada pela Universidade do Minho, com um forte pendore de experimentação de novas tecnologias numa ponte em Ruivães, localizada no Gerês.

No quarto capítulo, apresentam-se aplicações de novas tecnologias, dentro das técnicas do laser scanning, veículos aéreos não tripulados e a fotografia 360°, baseadas no levantamento geométrico de estruturas, fundamentalmente pontes, o tratamento e a apresentação dos resultados, e, ainda, ilações tiradas no final de cada prática.

No quinto capítulo, evidenciam-se os desafios existentes na realização de um plano de execução BIM para inspeção em obras de arte, e, ainda, um trabalho mais básico nomeadamente, a discussão do que poderão ser os níveis de detalhe, as regras de modelação para cumprir o bom procedimento da realização do modelo no contexto de inspeções, a forma de apresentar a

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

informação, e ainda, como proceder à sua colocação. Apresenta-se, ainda, neste capítulo, um caso de estudo no qual se criou um modelo BIM completo da ponte em Ruivães, seguindo as metodologias 'Building Information Modelling'. Esta escolha baseou-se nas tecnologias que estavam disponíveis, o enriquecimento e a informação adquirida durante a inspeção que se realizou na estrutura.

Por fim, no sexto capítulo, serão apresentadas as conclusões do trabalho realizado, assim como os possíveis desenvolvimentos futuros que darão continuidade ao estudo e desenvolvimento conseguido durante esta dissertação.

## **Capítulo 2. INSPEÇÃO DE OBRAS DE ARTE EM BETÃO ARMADO E OS DESAFIOS OFERECIDOS PELAS NOVAS TECNOLOGIAS.**

O presente capítulo procura apresentar as principais noções sobre as inspeções em obras de arte de betão armado e os desafios oferecidos pelas novas tecnologias.

Tratar-se-ão de assuntos relevantes nesta dissertação, de maneira que é necessário identificar quais os aspetos gerais nas obras de arte e as ferramentas que permitem gerir todas as atividades de manutenção e conservação das obras de arte de forma eficiente, tanto no tratamento dos dados como para auxílio nas tomadas de decisão.

Ao longo deste capítulo, ainda se pretende a perceção de forma clara e estruturada dos conceitos alusivos às técnicas de inspeção mais tradicionais, mas também a novas tecnologias para a sua realização na área de interesse desta dissertação.

Por fim, apresentamos um estado de conhecimento sobre a aplicação do Building Information Modelling aplicado nas inspeções.

### **2.1 Aspetos gerais sobre Obras de Arte**

#### **2.1.1 Designações**

Na semântica da engenharia, uma obra de arte é definida como sendo uma estrutura composta por vários elementos estruturais de acordo com as disposições de um projeto, permitindo o estabelecimento de uma via de comunicação. Tratam-se de estruturas compostas por elementos de grande envergadura que têm como funcionalidade o atravessamento de uma via de comunicação sobre uma linha de água, um vale ou uma depressão de terreno com um curso de água (Chen & Lian, 1999).

As pontes, juntamente com os viadutos, classificam-se como obras de arte, denominação essa que tem vindo a ser utilizada ao longo do tempo. Existe uma distinção entre as obras de arte correntes das especiais. Nas correntes encontram-se passagens agrícolas, passagens hidráulicas, superiores, inferiores e de peões, enquanto que nas obras de arte especiais, identificam-se as pontes, viadutos e túneis (Costa, 2009).

### 2.1.2 Tipologia e sistemas estruturais

Como se pode verificar no património de Obras de Arte rodoviário e ferroviário, existem diferentes tipologias e sistemas estruturais. No contexto das inspeções de pontes e viadutos, à qual diz respeito esta dissertação, é fundamental a identificação do tipo de estrutura em análise para permitir a elaboração de uma base de dados adequada.

Dentro dessa variedade de sistemas estruturais, podemos referir a existência de 3 grandes famílias: as pontes em arco, as pontes em viga e as pontes de cabos (Figura 2).

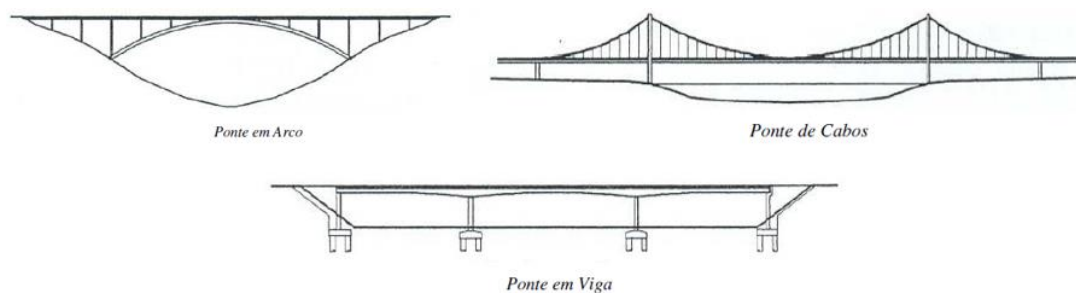


Figura 2-Tipologias de ponte segundo o seu sistema estrutural (Manterola e Cruz 2004)

De forma resumida, as pontes em arco funcionam essencialmente à compressão e são o tipo estrutural mais apropriado para materiais de construção denominados como “maciços”, tais como o betão e a pedra. As pontes em viga são, de uma forma geral, aquelas que se apoiam em dois encontros extremos e diversos pilares intermédios. Por último, as pontes de cabo distinguem-se em dois tipos de pontes, as atirantadas e as suspensas.

Para uma revisão mais alargada dessas tipologias segundo o seu sistema estrutural ver (Manterola & Cruz, 2004).

### 2.1.3 Componentes mais comuns das Obras de Arte

As obras de arte, são essencialmente compostas por duas partes, pela superestrutura e pela infraestrutura. A superestrutura é a parte que vence o vão, e engloba o tabuleiro que suporta a plataforma da via de comunicação, e no caso de existirem, é composta por vigas primárias/secundárias, arco inferior/superior, cabos, tirantes e pendurais. A infraestrutura incorpora os encontros, apoios intermédios e fundações, e é a parte responsável por transmitir as cargas

introduzidas pela superestrutura, por ações permanentes, variáveis ou acidentais, até ao solo (Ryall, 2000).

De acordo com as especificações técnicas das Estradas de Portugal (EP, 2015), o documento que define de que modo deve ser gerida a gestão da manutenção e inspeção nas obras de arte, estabelece que, por sistema, as obras de arte são divididas num total máximo de quinze componentes e cada componente pode ser dividido em vários elementos. Serão esses componentes que serão alvo de inspeção e aos quais serão atribuídos trabalhos de manutenção e reparação (EP, 2015).

Enfoca-se que após a fusão das Estradas de Portugal (EP) (rodovia) e da REFER (ferrovia), criando-se as Infraestruturas de Portugal (IP), o documento que se encontrava em vigor pela EP sofreu algumas alterações relativamente à periodicidade de certas inspeções, mas mantém-se em vigor e é atualmente aplicado pela IP. A Figura 3 pretende ilustrar os principais componentes das pontes.

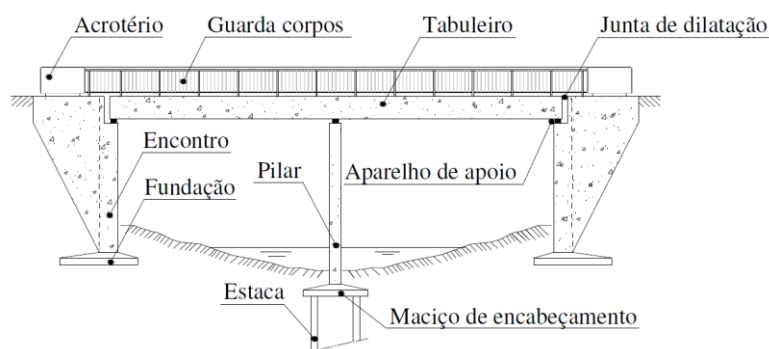


Figura 3-Principais componentes das pontes (Costa,2009)

Existe um elenco de elementos, mas só parte deles serão evidenciados por contemplarem características singulares.

- Tabuleiro

O tabuleiro pode ter determinada secção perante diversas variáveis tais como a largura, o sistema estrutural longitudinal, o material estrutural em causa, o vão e o processo construtivo. É importante salientar que um tabuleiro de uma ponte rodoviária em betão armado inclui, em geral, para além de elementos estruturais propriamente ditos, os seguintes elementos: revestimento da via, guarda de segurança, guarda corpos, juntas de dilatação, cornijas, sistema de drenagem, etc.

- Encontros

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

Para o funcionamento geral da Obra de Arte os encontros possuem um papel importante, dado que permitem que a superestrutura sofra assentamentos, dilatações ou outras deformações, sem que isso implique riscos maiores para o seu funcionamento.

- Fundações

As fundações dos pilares e encontros são divididas em dois tipos: as fundações diretas e as fundações indiretas. Ou seja, as fundações diretas aplicam-se quando dispomos de um solo de boa resistência a pouca profundidade, em regra são de betão armado, compostas por sapatas ou blocos. Em contrapartida, quando não temos características necessárias no solo é essencial executar fundações indiretas ou profundas, recorrendo a estacas, barretas ou pegões.

- Aparelhos de apoio

Os vários tipos de aparelhos de apoio agrupam-se perante o tipo de deslocamento que proporcionam, os materiais constituintes, e podem ter diferentes designações de acordo com os graus de liberdade que restringem. Portanto, poderemos ter aparelhos de apoio fixos, aparelhos de apoio livres e aparelhos de apoio unidirecionais. Todos eles exigem ter em atenção às disposições construtivas, de modo a permitirem a visita aquando das inspeções e eventual substituição.

- Juntas de dilatação

As juntas de dilatação estão normalmente localizadas entre o tabuleiro da ponte e cada encontro, apesar de que, em situações de pontes de extensões grandes, possam também situar-se em zonas intermédias do próprio tabuleiro. A classificação das juntas de dilatação pode ser feita segundo vários critérios, qualitativamente ou quantitativamente, tendo em consideração os materiais utilizados, o funcionamento estrutural, o modo de execução, os movimentos permitidos, etc.

- Órgãos de drenagem

A durabilidade das estruturas é muitas vezes comprometida devido à insuficiência, falta ou má execução dos órgãos de drenagem.

#### 2.1.4 Ciclo de vida

As obras de arte, bem como qualquer obra de engenharia, devem garantir durante um período de vida previamente especificado, condições de durabilidade e estabilidade, de modo a obter uma estrutura que garanta funcionamento e segurança (Ellingwood & Lee, 2016). Na avaliação da condição de pontes novas e existentes, bem como para a avaliação de estratégias de

manutenção, são usadas análises de ciclo de vida. Durante a implementação de estratégias de gestão de ativos, são necessárias ações de manutenção para manter os ativos nos níveis de desempenho desejados.

No caso de pontes rodoviárias, indicadores de desempenho, que podem ser obtidos por inspeções, testes não destrutivos ou sistemas de monitorização, são estabelecidos para cada componente. Esses indicadores, juntamente com a definição de metas de desempenho padronizadas, permitem avaliar a realização de planos de controlo de qualidade (Bittencourt, Frangopol, & Beck, 2016). Na Europa, existe uma grande disparidade quanto à forma como esses indicadores são quantificados e como os objetivos são especificados. Dessa forma, encontra-se em estudo pela Ação COST TU1406, o estabelecimento de uma diretriz Europeia neste assunto de forma a uniformizar todo o processo com base nas práticas existentes em todos os países Europeus envolvidos (Matos, Amado, Fernandes, & Galvão, 2017).

Contudo, durante o ciclo de vida de uma obra de arte, identificam-se seis fases fundamentais: conceção, estudo e análise, projeto de execução, construção, exploração e demolição. É importante salientar que desde a fase de conceção até à fase de construção, existe uma gestão mais preventiva, isto é, as decisões que são tomadas nestas fases, influenciam o desempenho e o comportamento da estrutura após a sua construção (Ryall, 2000).

A fase de conceção é identificada como a fase onde se idealiza a estrutura de acordo com as exigências técnicas e características, determinando os materiais e as soluções mais adequadas. Com base na regulamentação em vigor, tem-se em especial atenção aspetos estruturais, tais como recobrimentos mínimos, a qualidade do cimento, etc.

As fases de estudo e projeto de execução, são relevantes para garantir a qualidade, sendo essa imprescindível para alcançar um bom desempenho estrutural ao longo da vida útil de uma ponte. É fundamental haver planeamento entre estas fases com vista à prevenção de anomalias na estrutura, particularmente com a elaboração de modelos de simulação dos mecanismos de degradação, previsão de inspeções e análise das condições ambientais, de forma a certificar a qualidade na execução.

Na fase de construção, é recomendado respeitar todas as disposições do projeto de execução, tendo em consideração as normas de construção e a qualidade dos materiais. A fiscalização



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto

assume nesta fase, um papel fundamental no controlo da execução da obra, precavendo problemas que possam vir a surgir e dúvidas que possam ocorrer na interpretação do projeto.

Na fase de exploração é importante recorrer a sistemas de gestão de obras de arte de forma a planear inspeções periódicas, ações de manutenção e eventualmente ações de reparação na estrutura. Os documentos da EP (2015), definem que ao longo da vida útil de uma obra de arte podem ser realizados diferentes tipos de inspeção designados por: inventário, rotina, principal, especial e subaquática.

Por fim, a fase de demolição manifesta-se aquando as estruturas deixam de desempenhar as funções para as quais foram projetadas e deixam de responder às necessidades (Jesus, 2015). Apresenta-se na Figura 4 um fluxograma do ciclo de vida de uma ponte.

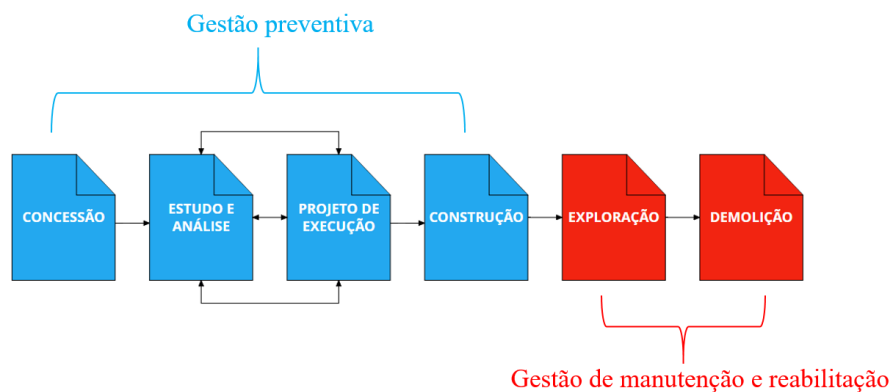


Figura 4-Fluxograma do ciclo de vida de uma ponte (adaptado de Ryal,2000)

## 2.2 Sistemas de Gestão de Obras de Arte

Os sistemas de Gestão de Obras de arte são uma ferramenta que permite gerir todas as atividades de manutenção e conservação das obras de arte de forma eficiente, tanto no tratamento dos dados como para auxílio nas tomadas de decisão (Almeida, 2003).

É importante que os donos de obra possam consultar e conhecer toda a informação relativa à gestão das respetivas obras de arte num formato organizado e informatizado, privilegiando assim a ordem dos trabalhos a serem efetuados de forma a obter níveis de conservação e manutenção desejáveis. O sistema de gestão de obras de arte possibilita identificar as principais deficiências atuais e futuras das obras de arte e ainda estimar os custos associados a ações de manutenção, conservação e reabilitação em planeamentos anuais (Mendonça, Brito, & Milhazes, Aplicação de gestão de obras de arte - goa- nova geração, 2010).

Segundo Almeida (2003), a estrutura de um sistema de gestão de obras de arte é tipicamente composta por inventários em que são identificados e descritos as características gerais de uma ponte, relatórios e fichas de inspeção, devendo incluir as avaliações efetuadas com as respetivas reparações e os custos associados, intervenções com toda a informação dos possíveis trabalhos que podem ser realizados, a informação financeira, nomeadamente, na estimativa de custos e fundos disponíveis e, por fim, modelos de gestão que inclui modelos de degradação e de otimização.

Pela sua relevância em Portugal, o sistema de gestão mais utilizado é o GOA<sup>®</sup> (Gestão de Obras de Arte), desenvolvido pela BETAR desde 1998, de modo a responder às necessidades dos donos de obra, essencialmente no apoio à gestão, de forma a permitir o conhecimento do estado real de conservação e manutenção, e assim, adotar decisões sobre o investimento a realizar (Mendonça & Brito, 2008).

O sistema GOA tem como particularidade a adaptação perante as necessidades dos donos de obra, mas também ao crescimento tecnológico a nível informativo, apresentando um elenco de módulos que interagem entre si.

- Tabelas auxiliares

Neste módulo encontra-se a informação sobre os diversos trabalhos de manutenção e reparação, fazendo ainda uma classificação de alguns destes como prioritários. Com o intuito de facilitar o trabalho dos inspetores podemos ainda encontrar tabelas de anomalias e tabelas de ligação de anomalias a trabalhos.

- Estimativas de custos e ajuste orçamental

Este módulo oferece estimativas de custos para os próximos anos e permite realizar ajustes orçamentais de forma a reduzir a verba exigida para a realização de trabalhos de manutenção e reparação, remetendo para o ano seguinte os trabalhos que forem excluídos.

- Inventário

Módulo que contém todo o registo das características de uma ponte. Deve ser criado no primeiro registo que se efetua no GOA e implementado no aparecimento de uma nova obra.

- Inspeções

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

Independentemente do tipo de inspeção a ser realizada, neste módulo deve ser feito o registo de todas as anomalias detetadas em cada componente, fazendo uma avaliação qualitativa relativamente ao estado de manutenção, mas também quantitativa sobre o estado de conservação e subsequentemente associar os trabalhos de reparação. No sistema GOA, as anomalias são fotografadas e anexadas à informação do respetivo componente, complementando com as medidas corretivas para cada circunstância.

- Histórico

Neste módulo localizam-se os registos perante as alterações efetuadas na base de dados e as intervenções de relevância maior realizadas na obra de arte.

- Consulta

O sistema possui uma ferramenta que através de filtros promove uma fácil utilização e aplicação de critérios de seleção que podem ser manipulados sob forma de consulta. O utilizador usufrui ainda da visualização da localização das obras em mapa, bem como do registo fotográfico como auxílio.

- Registo de transportes especiais

O sistema faz a verificação do itinerário de passagem de veículos perante as obras de arte que nele se encontram, em aspetos tais como, a altura livre necessária e adequada para a passagem, assim com a capacidade de carga para o transporte solicitado.

- Relatórios

Perante as indicações do utilizador, este módulo permite exportar os respetivos relatórios em lotes.

Em síntese, apresenta-se as valências que se destacam no sistema GOA.

- De forma organizada o sistema apresenta um registo de toda a informação e das características de qualquer obra de arte num inventário ou catálogo;
- Produz relatórios que englobam toda a informação coletada nas atividades de inspeção, nomeadamente as fotografias tiradas e descrição das anomalias identificadas pelo inspetor;
- Calcula os custos totais associados às reparações, sendo necessário apenas a introdução das quantidades exigidas para a respetiva operação, dado a existência de uma base de dados com múltiplas reparações possíveis e respetivos custos unitários;

- Permite realizar ajustes orçamentais de maneira a confirmar a verba disponível para os trabalhos prioritários de reparação, encaminhando os trabalhos não prioritários para outro ano fiscal;
- Localizar e identificar as obras de arte através de uma relação da base de dados com um sistema de informação geográfica e assim conhecer a caracterização geográfica da sua envolvente.

Assim sendo, o sistema GOA, através de múltiplos *inputs*, organiza e processa toda a informação assimilada, pondo ao serviço vários *outputs* aos seus utilizadores, indicando análises primordiais para os órgãos decisores dos processos de gestão e manutenção das obras de arte.

### **2.3 Procedimento tradicional de inspeção**

As obras de arte devem ser acompanhadas de forma periódica ao longo da sua vida útil, de forma que os técnicos possam identificar sinais de manifestação de qualquer tipo de alteração ou patologia na sua envolvente, ou mesmo na própria obra, que possa vir a afetar o seu desempenho. É importante referir que essas inspeções devem ser realizadas por técnicos competentes e experientes de modo a assegurar uma elevada qualidade nas avaliações efetuadas. Esses peritos devem visitar o local e verificar cuidadosamente a obra, primeiro visualmente e de seguida, caso se verifique necessário, com recurso a outros meios de apoio que permitam fazer um diagnóstico preciso do estado da estrutura (Costa, 2009).

É importante realçar que grande parte das referências bibliográficas que se seguem estarão omitidas, uma vez que maioritariamente a informação desta seção 2.3 provém dos manuais da Estradas de Portugal com a referência (EP, 2015) e a informação será transição desse documento. Assim sendo, são definidos nos manuais da EP (2015), que ao longo da vida útil de uma obra de arte podem ser realizadas inspeções tais como inventário, rotina, principal, especial e subaquática. O objetivo dessas inspeções é recolher e apresentar informações que permitam caracterizar e analisar o estado efetivo da estrutura e dos seus componentes.

Em geral, qualquer ato de inspeção tem como finalidade classificar o estado em que se encontra a obra de arte. Porém, por vezes é necessário realizar ensaios de forma a ter classificações mais precisas das condições em que se encontram essas obras de arte.

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

Os diagnósticos sobre as condições de uma obra de arte são relevantes sendo que é sobre esses que se irá gerar bancos de dados sobre as suas características funcionais. Com base nesses dados é exequível gerar uma análise sobre a necessidade de intervenções, reparos e planejar manutenções da obra de arte.

Para a realização de uma inspeção, os procedimentos dividem-se em três fases: pré-inspeção, inspeção propriamente dita e armazenamento e introdução de dados.

Dentro das três fases, a pré-inspeção compreende a seleção de todos os equipamentos e elementos que poderão ser essenciais no local em função da identificação dos condicionalismos envolventes à obra de arte. Deve desenrolar-se de forma sistematizada, analisando toda a estrutura e dando particular enfoque aos elementos críticos e zonas que já tenham antecedentes relativamente a danos, sendo composta pelos seguintes itens:

- Localização e condicionalismos envolvente;
- Consulta dos elementos de projeto e de inventário;
- Condições de acesso a todos os componentes;
- Necessidade de desvios de tráfego;
- Necessidade de informar as autoridades competentes com antecedência da realização das inspeções;
- Seleção dos equipamentos perante a avaliação efetuada nos pontos anteriores;
- Consulta do historial da obra e últimas inspeções realizadas;
- Seleção de um conjunto de obras em função dos pontos anteriores;
- Verificação do estado de funcionamento dos equipamentos e veículos a utilizar.

Na segunda fase dos procedimentos gerais, relativos à inspeção, são tidos em consideração aspetos sobre a identificação e o registo das anomalias detetadas na obra de arte, tal como a sugestão de medidas para a sua correção. Divide-se esta parte das especificações técnicas nos seguintes subtemas:

- Inspeção por tipo de componente e por tipo de estrutura;
- Localização, descrição e características do dano;
- Tipo de trabalhos e sua quantificação;
- Avaliação do estado de manutenção e conservação;
- Propostas de atuação;

- Situação de alerta.

Sendo que a avaliação do estado de conservação e manutenção depende do domínio por parte do inspetor das anomalias prováveis numa estrutura, os primeiros temas referenciados apresentam as anomalias mais comuns em cada tipo de estrutura ou componente. De seguida encontra-se um conjunto de itens com vista à definição exata de cada dano identificado. No que diz respeito aos trabalhos de reabilitação, estes podem ser pequenos ou grandes, de manutenção ou reparação.

Em conformidade com as definições expressas nas Especificações Técnicas (EP, 2015), o estado de manutenção de um componente pretende refletir o modo como vêm sendo executados os trabalhos de manutenção. Será classificado de Bom (B) ou Mau (M). Nas inspeções principais apesar de não serem propostos trabalhos de manutenção, é necessário classificar a globalidade da obra incluindo todos os componentes de acordo com:

- Bom: não é necessário realizar nenhum trabalho de manutenção em mais de 50% dos componentes;
- Mau: é necessário realizar algum trabalho de manutenção em mais de 50% dos componentes.

Por outro lado, o estado de conservação de um componente descreve as condições de desgaste, deterioração, funcionamento, execução, etc., em que este se encontra. É classificado numa escala que varia entre 0 e 5, correspondendo o 0 a um estado de conservação ótimo, se a qualidade do material, equipamentos, e a sua execução forem perfeitas, e o valor 5 a um estado de conservação muito mau, quando se verifica existir perigo para os utentes, independentemente de estar em causa a segurança estrutural da obra.

A classificação a atribuir a um determinado componente pode ser realizada perante os danos e defeitos observados nesse componente, do seguinte modo:

- À caracterização do(s) dano(s) é atribuída uma pontuação de 0 a 3, distribuídas da seguinte forma:

Natureza	0 a 1
Estado de desenvolvimento	0 a 1
Extensão dos danos	0 a 1

- À função do(s) componente(s) 0 a 1

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

- Consequências do(s) dano(s) 0 a 1

A classificação final será atribuída somando estas pontuações parciais. A sua interpretação pode ser feita com base na Tabela 1.

Tabela 1-Classificações EP (2015)

Estado de Conservação	Significado
0	Estado de Conservação Excelente. Não é necessário efetuar qualquer reparação.
1	Estado de Conservação muito bom. Não é necessário efetuar qualquer reparação.
2	Estado de Conservação bom. Podem ser especificadas reparações não prioritárias. Verifica-se que a qualidade dos materiais ou a sua execução são defeituosas. Foram detetadas algumas anomalias com alguma importância no comportamento e durabilidade da obra de arte, mas que pela onerosidade da sua reparação não justificam a intervenção prioritária.
3	Estado de Conservação razoável. Verifica-se que a qualidade dos materiais ou a sua execução são más. Funcionamento deficitário, com especial importância na durabilidade da obra de arte. A intervenção poderá ser realizada entre 3 a 5 anos ou caso o inspetor o entenda ser reavaliada na próxima inspeção principal. A opção quanto à data de intervenção ou à data de inspeção deverá ser expressamente indicada e devidamente justificada.
4	Estado de Conservação deficiente. Deve ser especificado o início de intervenção a curto prazo (2 anos). Verifica-se que a qualidade dos materiais ou sua execução são más. Funcionamento defeituoso com importância na durabilidade e comportamento da obra de arte. O Componente com esta classificação não cumpre os requisitos mínimos para desempenhar a função para a qual foi concebido. Pode ser especificada a necessidade de um projeto de reforço/reabilitação. Se a intervenção não tiver início no final de 2 anos, nas vistorias de acompanhamento anuais seguintes a realizar, pode ser restringida à sua exploração através de condicionamentos ao tráfego, ou despoletadas outras intervenções de carácter preventivo tais como escoramentos ou reforços temporários.
5	Estado de Conservação mau, pode estar em causa a segurança estrutural do Componente ou mesmo da Obra de Arte. Deve ser especificado o início de intervenção com urgência ou a curto prazo (aconselhável 1 ano e no máximo 2 anos). Deve ser especificada a necessidade de um projeto de reforço/reabilitação. Devem ser implementadas medidas restritivas da circulação rodoviária, em termos de carga, velocidade ou modo de circulação ou outras intervenções de carácter preventivo. No caso limite, a circulação rodoviária pode ser interdita. Se a intervenção não tiver início no final de 2 anos, nas vistorias de acompanhamento anuais seguintes poderá ser acrescida a sua exploração através de condicionamentos ao tráfego mais restritivos, ou outras intervenções de carácter preventivo tais como escoramentos ou reforços temporários.

Na terceira fase dos procedimentos gerais, os dados reunidos durante a realização da inspeção principal no local da obra, terão que ser devidamente guardados, de modo a poderem ser posteriormente introduzidos no sistema. Com este objetivo a equipa de inspeção terá, após a conclusão de cada dia de trabalho, de realizar as seguintes tarefas:

- Criar pastas para cada uma das obras inspecionadas, no computador;
- Passar as fotografias das máquinas digitais para as pastas das obras inspecionadas;
- Passar os ficheiros de voz digitais (caso existam) para as pastas das obras inspecionadas;
- Armazenar as fichas de inspeção (caso existam) em dossiers, para que se mantenham legíveis;
- Preparar o equipamento para o dia seguinte, nomeadamente proceder à sua limpeza e ao carregamento das baterias (caso existam).

A introdução das inspeções no sistema deverá ser feita logo que possível, sendo o inspetor responsável pela verificação dos dados introduzidos. Em situações que foi detetada a necessidade de realizar estudos complementares (inspeção subaquática, ensaios, etc.) o inspetor deverá complementar o relatório de inspeção com uma carta onde apresenta as razões pelas quais estão na origem destes estudos (BETAR, 2006).

Apresenta-se na Figura 5 um extrato a título exemplificativo de um formulário tipo geralmente utilizado nas inspeções.

Identificação da Obra de Arte														
Responsável pela Inspeção			Data			Cond. Atmosféricas / Temp. Ambiente			Ano da Próxima Inspeção					
			/ /						/					
Estado do de Conservação (Síntese)														
	Componente	EC	EM	ECP		Componente	EC	EM	ECP		Componente	EC	EM	ECP
1	Obra de Arte - Geral				6	Apoios intermédios				1	Passaios			
2	Muros				7	Tabuleiro				1	Revestimento da via			
3	Taludes				8	Cornijas				1	Drenagem			
4	Encontros				9	Guarda corpos				1	Juntas de dilatação			
5	Aparelhos de apoio				10	Guarda de segurança				1	Outros Componentes			
										5				
Custo global das intervenções previstas na inspeção e ano de reparação														
Custo (€)						Ano de Reparação								
Situação de alerta														
Sim		Componente				Comentário								
<small>Nota: O campo de comentário tem linhas suficientes e o programa deverá propor uma minuta Word para que possa ser enviada. Este ficheiro Word sairá com a data da inspeção e com a indicação do responsável pela mesma.</small>														
Restrições à exploração														
Via sobre a obra		Velocidade		Largura		Carga								
1ª Via intersectada		Gabarit Horizontal		Gabarit Vertical										
2ª Via intersectada		Gabarit Horizontal		Gabarit Vertical										

Figura 5-Extrato de um formulário tipo usado em inspeções (EP,2015)



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto

O manual da EP (2015), ainda apresenta um percurso possível para a inspeção de uma passagem superior, que irá se apresentar de seguida na Figura 6 a título exemplificativo. Esta proposta serve de base para apoiar os inspetores na definição do percurso de uma inspeção, sendo que a equipa deve no local analisar a envolvente da obra de arte e os respetivos condicionalismos. O percurso escolhido deverá permitir a inspeção sequencial dos elementos da obra cujo estado de conservação e manutenção possam ser influenciados reciprocamente. É recomendado que não deve ser realizado, por exemplo, em ocasiões distintas a inspeção da parte superior e da parte inferior da obra. A inspeção deve ainda ser realizada, sempre que possível, sem interrupções, para que a equipa de inspeção possa avaliar de uma forma integral as anomalias detetadas em elementos diferentes.

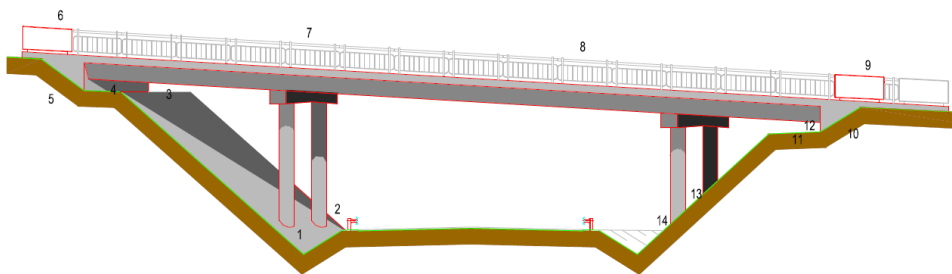


Figura 6-Percurso de inspeção numa passagem superior EP (2015)

Posto isto, passar-se-á a descrever de forma concisa, com base nos manuais desenvolvidos pelas Estradas de Portugal e pela Betar Consultores, os tipos de inspeção que podem ser realizados ao longo da vida útil de uma obra de arte.

### 2.3.1 Inventário

Quando é recebida uma nova obra de arte, será a primeira atividade a realizar precedendo qualquer outro trabalho de inspeção, manutenção ou de reparação.

Um inventário é organizado em três tipos de dados distintos: administrativos, técnicos e de constituição.

Nos dados administrativos regista-se toda a informação disponível que permita localizar e identificar a obra de arte. Para a localização da obra deve-se registar, pelo menos, o nome da via em que está inserida e o respetivo ponto quilométrico, e para a identificação deve-se registar o tipo da obra, o seu nome e atribuir-lhe uma numeração ou matrícula. Para além do que foi referido, ainda é necessário registar outro parâmetro, que será a localização dada pelo GPS

(geo-referenciação) para cada obra de arte, no ponto de interseção da via principal com a via interseccionada. Esse registo de coordenadas geográficas permite assim a sobreposição do parque de obras de arte com as cartas e mapas da área em que as obras se localizam.

Nos dados técnicos devem ser registados a solução estrutural adotada, as dimensões gerais (comprimento, largura, ‘‘gabarits’’), o tráfego, a caracterização da via sobre a obra de arte e a informação sobre o meio envolvente (zona sísmica, agressividade ambiental). Estes são os dados mais apropriados para entender o comportamento estrutural e realizar projetos de reparação, se necessários.

Por fim, os dados de constituição destinam-se a descrever e quantificar os materiais e equipamentos que integram parte de cada componente. Como foi referido na seção 2.1.3, as obras de arte dividem-se num total máximo de quinze componentes de constituição e assim sendo, deverá ser feito um registo de todos os materiais e equipamentos que a constituem, bem como das respetivas quantidades.

Estes três tipos de dados podem ser adquiridos por meio da consulta do projeto de execução ou, porventura, se esse não existir ou se encontrar omissos, por intermédio da recolha diretamente em campo, segundo métodos pré-estabelecidos.

Caso surja alguma situação de dúvida, durante o inventário ou em fases posteriores, a confirmação terá de ser sempre feita na obra e, no caso de haver divergências devem ser feitas as devidas correções atualizando o inventário (BETAR, 2006).

### 2.3.2 Inspeção de Rotina

As inspeções de rotina englobam um conjunto de procedimentos e normas que visam estabelecer uma correta avaliação das obras de arte. De acordo com a adenda EP (2015), a periodicidade de inspeção do documento EP (2006), que ainda se encontra em vigor em Portugal, foi revista para dois anos. O objetivo principal deste tipo de inspeção é avaliar o estado de manutenção das obras de arte, o qual traduz o desempenho suficiente ou insuficiente das equipas de manutenção.

Durante a inspeção, o inspetor deve avaliar os trabalhos de manutenção anteriormente realizados, assim como a necessidade de realizar trabalhos complementares e caso seja

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

necessário, indicar a realização de uma inspeção principal em situações em que tenham sido detetadas anomalias que, pela sua complexidade e natureza, requerem uma avaliação mais aprofundada (ex.: fissuras em elementos estruturais, assentamentos de fundações, rotação de pilares, etc.). Permite ainda, detetar as anomalias devido à falta de manutenção, tipificar trabalhos de manutenção, efetuar previsão de custos de manutenção para o ano seguinte, permitindo assim, desenvolver mapas de quantidades para trabalhos propostos em futuras empreitadas de manutenção (BETAR., 2006).

### 2.3.3 Inspeção Principal

A inspeção principal consiste em observar e registar as condições de funcionamento de uma obra de arte. Distingue-se da de rotina, uma vez que faz a avaliação das anomalias mais graves, cuja retificação terá de passar pela realização de trabalhos de manutenção ou pela preparação de projetos de reparação. Neste registo ficam identificadas as anomalias mais graves que comprometem o bom desempenho dos diversos componentes da obra de arte a nível de durabilidade, desempenho estrutural, ou de segurança (EP, 2015).

Do mesmo modo que para as inspeções de rotina, a periodicidade deste tipo de inspeção foi revista para seis anos. No entanto, em situações particulares, estas inspeções podem ser realizadas em períodos inferiores consoante as características da ponte e da agressividade do meio envolvente em que se encontra inserida. Também, em situações que se verifique causas ambientais (e.g. acumulação de aluviões) ou causas acidentais (e.g. impactos de veículos) este tipo de inspeção pode ser efetuado. Durante a realização deste tipo de inspeção, é essencial que o registo dos dados seja feito de forma organizada e com base em procedimentos bem definidos, de forma a evitar discrepâncias nas avaliações efetuadas por diversos inspetores.

A qualificação de um dano ou anomalia é feita pelo inspetor, tendo em atenção a localização, a importância do componente na estrutura, a importância da obra, a evolução prevista da anomalia e a possibilidade de estar a introduzir perturbações no tráfego. Caso subsista alguma incerteza em relação à causa, gravidade da anomalia ou extensão, deve-se solicitar a realização de uma inspeção especial, de forma a realizar análises técnicas e específicas que permitam avaliar com segurança o estado real do componente e recomendar uma medida de correção mais adequada para a sua reparação.

Durante a Inspeção Principal deve-se fazer o registo completo, por componente, de todos os danos visíveis ou circunstâncias de inadequado funcionamento. É necessário descrever e localizar o dano e indicar a sua causa, se for conhecida. De forma a melhorar a compreensão da extensão e gravidade dos danos, pode-se também acompanhar este registo com fotografias ilustrativas.

Assim sendo, é muito importante que o inspetor tenha a capacidade de identificar as anomalias, conhecer as causas, prever a sua evolução, conhecer os tipos e métodos de reparação e estimar os custos.

#### 2.3.4 Inspeção Especial

As inspeções especiais surgem normalmente após a realização de uma inspeção principal, sendo que não existe nenhuma periodicidade definida, e realizam-se sempre que se considere necessário identificar e analisar com maior detalhe alguma deficiência detetada, de forma a garantir a segurança e durabilidade da estrutura.

Neste tipo de inspeção procede-se normalmente à realização de ensaios que permitem avaliar com maior precisão o estado de deterioração da obra de arte de cada um dos seus componentes, permitindo assim sua avaliação da segurança estrutural. Geralmente numa inspeção especial recorre-se a meios elevatórios amovíveis e a recolha de amostras, como carotes, para de seguida efetuar ensaios, permitindo assim identificar a qualidade dos materiais, o grau de deterioração dos materiais, o impacto que a anomalia causa na resistência dos vários componentes e a sua evolução. Refere-se que existe um projeto em curso a nível nacional com o LNEC (Laboratório Nacional Engenharia Civil), para a realização de Especificações Técnicas próprias para este tipo de inspeção em algumas pontes notáveis. Neste momento está concretizado para dezassete pontes notáveis, no entanto, ainda não é possível ter acesso a esses documentos. Com a criação da IP, existe a perspetiva de expansão significativa desta abordagem.

Posto isto, e dado que os custos associados a este tipo de inspeção são normalmente relevantes, é crucial uma escolha racional dos ensaios a realizar bem como dos equipamentos que se irá utilizar. Deve-se definir o tipo de ensaio consoante os resultados pretendidos, a precisão exigida, a extensão da estrutura, a verba disponível, e a perturbação que é introduzida na utilização da obra de arte.

Assim sendo, poderão ser realizados, entre outros, os seguintes trabalhos:

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

- Ensaios de carga;
- Medição geométrica de deformações e comportamento dinâmico;
- Medição da camada de recobrimento das armaduras;
- Avaliação do grau de corrosão das armaduras;
- Recolha de amostras para realizar ensaios químicos ou físicos sobre os materiais;
- Trabalhos de monitorização.

Num primeiro grupo pode se diferenciar os ensaios em mecânicos, físicos ou químicos. Os mecânicos permitem conhecer a resistência dos materiais e as suas características elásticas através de ensaios de tração e compressão. Os ensaios físicos, permitem identificar características dos materiais tais como a densidade, permeabilidade, porosidade, absorção, teor em água, etc. Por último, os ensaios químicos são realizados para conhecer as análises químicas e térmicas do betão.

Num segundo grupo, pode se diferenciar os ensaios destrutivos dos ensaios não destrutivos. Dentro dos ensaios destrutivos engloba-se a extração de carotes que permite assim determinar a capacidade resistente dos materiais e sua deformabilidade. Nos ensaios não destrutivos destacam-se os ensaios de diagnóstico da velocidade de propagação de ondas ultrassónicas, radiográficos, medição de recobrimentos e determinação do teor de cloretos.

Por fim e a termo exemplificativo, caso surja uma suspeita de corrosão das armaduras, pode-se recorrer à medição do potencial elétrico, da resistividade, do recobrimento das armaduras, da permeabilidade ou do teor de cloretos no betão. Se a dúvida for a delaminação do betão, pode-se recorrer à recolha de carotes.

#### 2.3.5 Inspeção Subaquática

Nas obras de arte que existam elementos submersos deverão ser realizadas periodicamente inspeções subaquáticas, com o objetivo de avaliar a existência de danos na estrutura ou na zona envolvente, cuja rotura possa provocar o colapso parcial ou total da obra de arte.

Este tipo de inspeção requer recursos e técnicas de sondagem subaquática ou pessoal especializado em mergulho para a realização das tarefas de inspeção. Devem ser planeadas, programadas, supervisionadas e interpretadas por engenheiros com experiência e competência comprovada no domínio das obras de arte e estruturas especiais, uma vez que englobam

características pluridisciplinares, envolvendo a análise estrutural, hidráulica, geotécnica e geológica. É recomendável que não se dissocie a inspeção das fundações submersas do resto da ponte, uma vez que os danos na estrutura são por vezes imputáveis a anomalias existentes na sua fundação.

## 2.4 Técnicas de inspeção

Nas técnicas de inspeção usadas em processos de inspeção, serão apenas abordados equipamentos usados em inspeções de rotina, principal e especial, sendo nessas que se baseia fundamentalmente o estudo desta dissertação, colocando a inspeção subaquática fora do grupo, ignorando, desta forma, os elementos que estejam submersos.

No âmbito destas técnicas, que abrangem na maior parte aquelas que se realizam na superestrutura, os métodos tradicionais de suporte mais utilizados são a fita métrica, a máquina fotográfica, o gravador, o esclerómetro, ensaios de fenolftaleína, a régua de medir fissuras e as fichas de inspeção (EP, 2015). Para além desses métodos, também já se usam equipamentos tecnologicamente mais avançados, principalmente em inspeções especiais, tais como a caroteadora, distanciómetro laser, detetores de armadura por georadar, radiografia, raios gama, detetores ultrassónicos de fissuras, dispositivos para a realização de testes “in-situ” de corrosão, resistividade e permeabilidade e ainda equipamentos que permitam determinar a humidade relativa. Alguns dos equipamentos aqui mencionados permitem a visualização em tempo real de um conjunto de características e informação, possibilitando ao inspetor tirar ilações e decisões durante a inspeção, o que torna o processo muito mais eficiente e proveitoso, mas também menos oneroso.

No entanto, é importante referir que todo o processo atual relativamente à aquisição de dados geométricos de uma ponte é desenvolvido com base em levantamento, processamento e interpretação manual de dados. Não se recorre a técnicas topográficas sendo essas muitas dispendiosas a nível económico e correspondendo a um processo relativamente lento. Por esse motivo, é demorado e na maioria das vezes propensos a erros.

Com o avanço tecnológico e os recursos que hoje em dia estão disponíveis, é imprescindível não desafiar as tecnologias para ramos tais como as inspeções e a gestão da manutenção, neste caso em pontes, de forma a colmatar as lacunas existentes que fazem com que o rendimento e a qualidade nos trabalhos sejam exequíveis.

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

Por essa razão, será apresentado um conjunto de equipamentos que utilizam a técnica do laser scanning, veículos aéreos não tripulados para o uso da técnica da fotogrametria e ainda o uso da fotografia 360° nas inspeções de obras de arte.

#### 2.4.1 Técnicas tradicionais

Em Portugal, através da experiência reportada pelo Eng. Fábio Milhazes da BETAR, sendo altamente experiente sobre o assunto, nas inspeções de rotina e principais, tipicamente recorre-se a uma máquina fotográfica, para permitir captar as anomalias e patologias identificadas durante a inspeção, um gravador áudio, no qual identificam um conjunto de informação sobre a patologia, fita métrica, régua de medir fissuras e as fichas de inspeção que são utilizadas em campo. Este material é normalmente suficiente sendo que este tipo de inspeção é baseado na recolha de informação de modo a avaliar o estado de manutenção e conservação da obra de arte, os quais traduzem o seu desempenho.

Caso o inspetor tenha alguma dúvida ou recomende a realização de um estudo mais profundo e detalhado, aí surgem dentro das inspeções especiais equipamentos mais apropriados e tecnológicos. Neste contexto já se usam técnicas mais sofisticadas, mas as usualmente utilizadas são a caroteadora, para recolha de amostras e assim determinar as condições do betão, detetores de armadura tanto mais básicos como tecnológicos, dependendo da necessidade, e ainda veículos próprios e especializados para inspeção, equipados com cestos móveis ou plataformas, permitindo assim o acesso a zonas menos acessíveis, ou mesmo inacessíveis, da equipa responsável pela inspeção.

#### 2.4.2 Novas tecnologias

- Laser Scanning

Nos últimos anos, investigadores e entidades responsáveis pela gestão das pontes identificaram a tecnologia de digitalização por meio de laser como uma alternativa promissora para o levantamento e documentação de dados geométricos de pontes devido à sua alta precisão e capacidade de levantamento de dados (Tang, Akinci, & Garret, 2007).

Esta técnica consiste na emissão de milhões de impulsos laser direcionados e consoante a taxa de reflexibilidade do obstáculo que for encontrada, é calculada a localização espacial de cada ponto. Em cada um, é adquirida informação sobre a intensidade de reflexão que representa o

comportamento dos materiais em relação ao comprimento de onda da radiação laser emitida pelo aparelho. Este parâmetro pode variar consoante a distancia ao obstáculo, ângulo de incidência e também pelas características de cor e reflexibilidade da superfície. Quanto maior a reflexibilidade ao laser for o obstáculo, maior será a dificuldade em analisar a sua reflexão e consequentemente, maior o erro na medição ou até poderá haver a impossibilidade de a realizar. Para além da informação recolhida pelo varrimento laser, pode ainda ser adicionada informação de cor RGB através de imagem fotográfica. Certos equipamentos já executam essa tarefa de forma autónoma onde recolhem e associam a informação fotográfica com cada ponto.

A informação adquirida por parte dos equipamentos é armazenada em base de dados, resultando naquilo que é normalmente designada por ‘nuvem de pontos’. Em cada ponto que constitui uma nuvem, pode apresentar características de localização espacial (x, y, z), normais (nx, ny, nz), a intensidade de reflexão (a), e, ainda, sobre a cor (R, G, B).

As nuvens de pontos, quando retratadas de forma gráfica, podem assemelhar-se a uma superfície uma vez que a densidade de pontos é muito elevada (Figura 7), porém, não se podem designar como representações de superfícies.

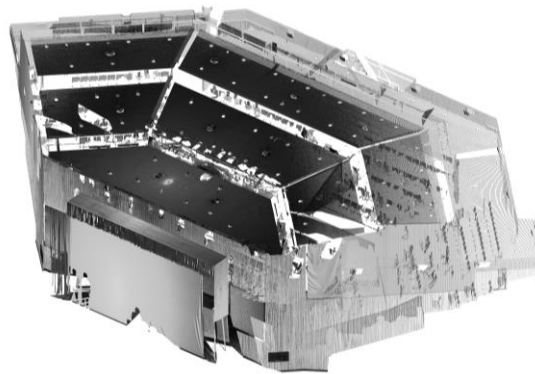


Figura 7-Nuvem de pontos com densidade elevada realizada com laser scanning (Leica ScanStation P40)

A técnica do varrimento laser 3D tem evoluído de forma significativa ao longo do tempo, quer ao nível da amplitude das suas aplicações como também ao nível de detalhe e precisão. Vários trabalhos desenvolvidos com recurso a esta técnica na área da engenharia civil, mas particularmente no domínio das inspeções e gestão da manutenção, já mostraram resultados que provam que este equipamento tem potencial e fiabilidade para ser utilizado nestes campos. Destes trabalhos, podemos destacar o de Al-Neshawy, Piironen, Peltola, & Puttoten (2009), que



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto

utilizaram a técnica do varrimento laser 3D como ferramenta para deteção de patologias em fachadas (Figura 8), nomeadamente, deformações geométricas em paredes de alvenaria, e concluíram que esta técnica era viável para a deteção e quantificação de deformações neste tipo de situações.

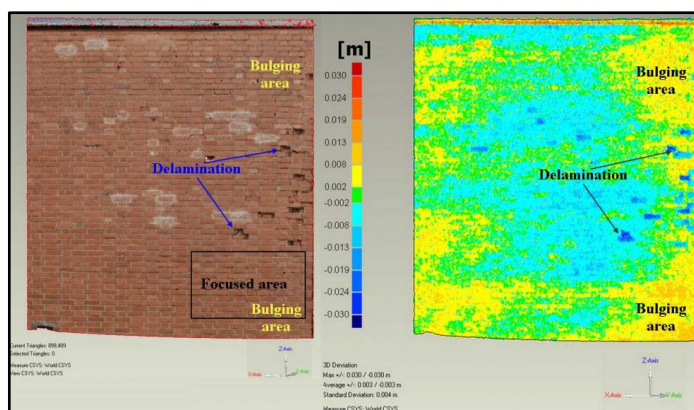


Figura 8-Delaminação de tijolos e deterioração das juntas detetadas a partir do varrimento laser scanning (Al-Neshawy, Piironen, Peltola, & Puttoten, 2009)

Também Sun, Huang, Liu, & Xu (2012), desenvolveram um estudo para a deteção de fissuras em pavimentos que após análise e alguns ensaios de campo, concluíram que existe um grande potencial para a deteção e localização eficaz de fissuras em pavimentos. Ainda Chen (2012), identificou a técnica como uma ferramenta ideal para inspeção de pontes sendo que não é necessário existir por natureza um contato direto, uma interrupção limitada do tráfego, baixos requisitos de mão-de-obra e, por possibilitar a monitorização permanente da estrutura para eventuais movimentos ao longo do tempo. O autor considera que esta técnica permite a aquisição de informação essencial que ainda assim deve ser completada com outras metodologias de inspeção. Mais recentemente, Valença, Puente, Júlio, González-Jorge & Arias-Sánchez (2017), verificaram que o laser scanning adequa-se para o levantamento geométrico de estruturas em betão e construção de modelos tridimensionais, incluindo informações sobre pontos de referência essenciais para a caracterização de fissuras. No entanto, também apresentou a não operação em superfícies com manchas sujas, que escondem fissuras e não permitem obter uma resolução suficiente para a pesquisa exhaustiva da imagem.

O laser scanning tem vindo a justificar que tem de facto potencial para ser uma ferramenta de inspeção de campo em pontes, e pode ajudar a reduzir os custos de inspeção e, ao mesmo tempo, aprimorar a precisão nas inspeções de campo (Chen S. E., 2012).

Posto isto, apresentam-se alguns equipamentos para a realização de inspeções que permitem fazer levantamentos de nuvem de pontos com características distintas umas das outras. Procedeu-se a uma divisão dos equipamentos pela mobilidade que cada um oferece estando caracterizados como estáticos ou móveis.

- Lasers estáticos

Este tipo de tecnologia pode ser categorizado por tipologia como estações fixas de laser que oferecem características, tais como dados de alta qualidade e imagens HDR (High Dynamic Ranger) a uma velocidade de varrimento extremamente rápida na ordem de milhões de pontos/segundo, alcances com distancias superiores a 100 metros e precisões na ordem dos 1.0mm +/- 10ppm. Permitem ainda, devido à sua precisão angular emparelhada com o ruído de baixa distância e a compensação de eixo duplo de nível de pesquisa, nuvens de pontos de cores 3D altamente detalhadas, mapeadas com clareza realista, e desenvolvidos para apresentar resultados de varrimento mesmo em ambientes difíceis. No mercado encontram-se várias soluções como por exemplo o Leica ScanStation P40 (Figura 9 (a)) com uma velocidade de varredura de 1.000.000 de pontos/segundo, alcance de 240 metros e uma precisão de 1.2mm +/- 10ppm. Ou ainda, o FARO Focus 350 (Figura 9 (b)) dotando de uma precisão da distancia até +/- 1mm, alcance de 350 metros e a sobreposição de fotografias HD (High Definition) coloridas até 165 megapixéis.

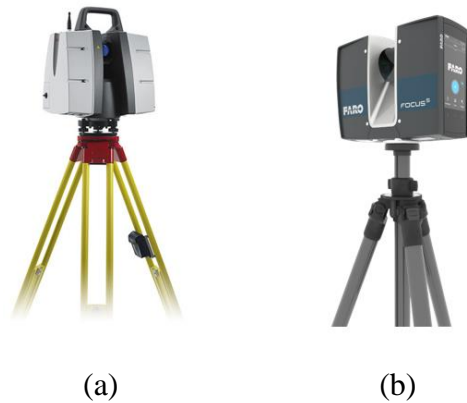


Figura 9-Lasers estáticos (a) Leica ScanStation P40; (b) FARO Focus 350

- Lasers móveis

Os equipamentos que serão aqui apresentados têm todos uma característica em comum: a realização de um varrimento ‘laser scanning’ para a obtenção de uma nuvem de pontos à medida que se vão movendo. Estes equipamentos contemplam várias vantagens das quais se realçam, a capacidade de gerar um mapeamento completo de áreas e elementos físicos em tempo

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

reduzido com níveis de precisão na ordem dos 7mm +/- 20ppm e ainda com cuidados reduzidos por parte do utilizador. Tratam-se de soluções de grande portabilidade e manuseamento, oferecendo várias características, variando perante o equipamento, tais como uma velocidade de varrimento extremamente rápida que varia entre os 40.000 e os 600.000 pontos/segundo, um alcance em média de 30m em zonas interiores e os 15m para zonas exteriores, e contemplam um processamento da nuvem de pontos automatizada. Qualquer um desses equipamentos permite o registo de documentação tridimensional abrangente, sendo que reúnem algumas limitações que não permitem a recolha massiva de informação aliada a uma necessidade de rigor, uma vez que integram fatores que podem influenciar a exatidão da trajetória, sendo que se tratam de equipamentos móveis.

No mercado pode-se encontrar algumas soluções como o Leica Pegasus: Backpack (Figura 10). Trata-se de uma “mochila” equipada com um sistema de laser scanning, pesando aproximadamente 12kg com a bateria, e 32kg incluindo também os acessórios. É capaz de gerar um varrimento laser de 600.000 pontos/segundo, com um alcance de 50m e uma precisão relativa entre os 2cm para zonas interiores e os 3cm para zonas exteriores.



Figura 10-Leica Pegasus: Backpack

Dentro dos lasers móveis também se encontra o NavVis M3 Trolley (Figura 11), trata-se de um “carrinho” de mão que integra seis câmaras e três scanners a laser de sistema de alta resolução permitindo assim um varrimento laser com alcance de 30m e uma precisão na ordem dos 5mm. Este equipamento gera ainda imagens panorâmicas de 360°, combinadas num modelo virtual.



Figura 11-NavVis M3 Trolley

Para além dos equipamentos referidos, apresentam-se ainda dois lasers móveis, mas tendo desta vez um tamanho e peso ainda mais reduzido. O primeiro é o Zeb-Revo da GeoSlam (Figura 12(a)), um laser de mão, que proporciona uma velocidade de aquisição de dados de 43.200 pontos/segundo, com alcance máximo de 30m para zonas exteriores e 15m ao ar livre e uma precisão +/- 15mm. O segundo é o BLK360 (Figura 12(b)), que apresenta as seguintes características: um varrimento laser até 360.000 pontos/segundo, com uma precisão de 4mm para distâncias até os 10m e de 7mm para distancias até os 20m. Os dois lasers móveis mencionados são equipamentos de que não dependem de GPS para o posicionamento e mapeamento preciso. Qualquer inspetor consegue realizar um mapeamento com recurso a estas soluções uma vez que não necessitam de conhecimentos da técnica.



(a)





(b)

Figura 12-ZebRevo (a); BLK 360 (b)

Recentemente no ‘‘II Encontro Nacional de Utilizadores de Laser Scanning Leica Geosystems’’, que teve lugar no dia 1 de junho de 2017 no Centro de Congresso da Alfândega do Porto, foi apresentado de forma formal ao mercado nacional o novo scanner da Leica Geosystems, o BLK360.

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto

Durante o evento assistiu-se à apresentação de (Schaffers, 2017), Diretor de Desenvolvimento de Negócios da Leica, na qual apresentou inúmeras vantagens do equipamento e ainda compôs uma breve comparação do BLK 360 com o equipamento standard da indústria em termos de precisão e qualidade de dados captados com laser scanning, o P40, que se irá apresentar de seguida na Figura 13.

Tipo/classe de dispositivo	Imagem Scanner Abordagem da "primeira imagem"	Scanner "Levantamento de alta definição"
Principais usuários alvos	Profissionais AEC	Topógrafos
Nível de conhecimento exigido	Baixo	Alta
Uso Principal	<u>Interior</u> / Exterior	Interior / <u>Exterior</u>
Tamanho adequado do projeto	Pequeno	Grande
Característica principal	Simplicidade & Portabilidade	Precisão e versatilidade

(a)
(b)

Figura 13-Comparação BLK360 (a) vs P40 (b)

Integrado na comparação, foram apresentados resultados de levantamentos com os dois equipamentos efetuados em zonas idênticas, dos quais observa-se que tanto a nível da imagem termográfica (Figura 14), no ruído e dispersão dos pontos (Figura 15 e 16), existe alguma discrepância nos resultados obtidos para situações em que se pretende obter resultados precisos sobre os quais se possam tirar decisões.

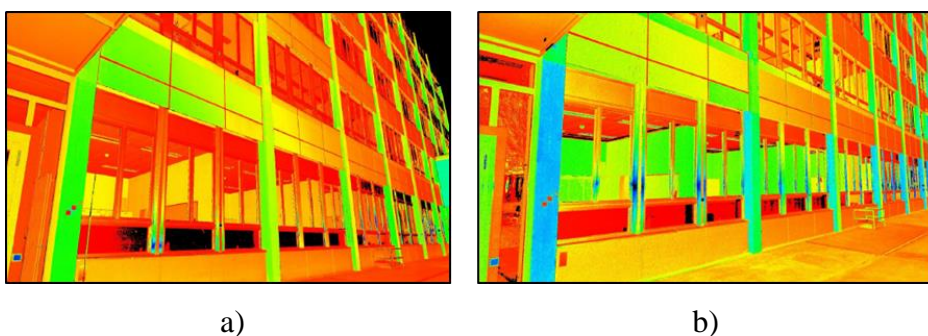


Figura 14-Imagem termográfica BLK360 (a); P40 (b)

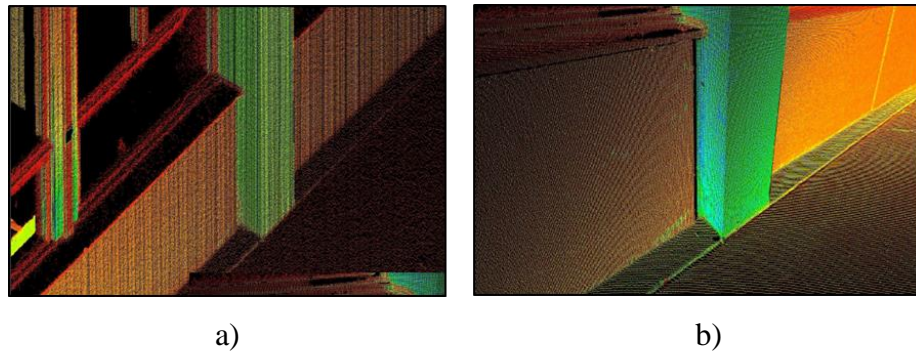


Figura 15-Dispersão da nuvem de pontos BLK360 (a); P40 (b)

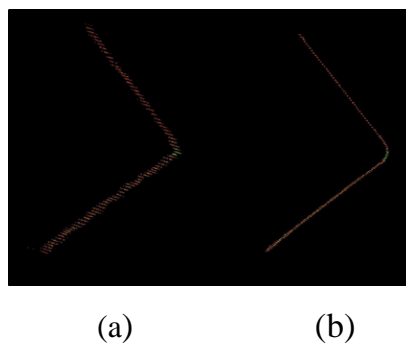


Figura 16-Dispersão dos pontos em seção transversal BLK360 (a); P40 (b)

De facto, encontram-se alguns prós e contras relativamente ao novo equipamento da Leica, mas para situações em que se procura efetuar um registo com documentação 3D abrangente, a captura da realidade ao invés do detalhe rigoroso, gerar planos com anotações de forma rápida, em que se valoriza a simplicidade e portabilidade, e quando a maioria dos trabalhos a realizar se encontram em ambientes fechados, é então amplamente eficiente e adequado. O BLK360 não será a panaceia definitiva do laser scanning, sendo que existem de facto muitas aplicações que necessitam de recolha massiva de informação (i.e. com muitos estacionamentos), aliados muitas vezes à necessidade de um rigor no limite do que é possível alcançar com laser scanning. No entanto, no sector da AEC e outros contextos, o novo equipamento traz de facto uma nova solução e resultados largamente suficientes.

Por último, apresenta-se uma ferramenta automatizada para avaliação de tabuleiros em pontes de betão armado desenvolvido pela Rutgers na Universidade de New Jersey dos Estados Unidos da América, a qual foi vencedora do prémio de inovação da ASCE (American Society of Engineering Civil) em 2014. Contempla características distintas das que foram anteriormente referidas sendo que não é um equipamento destinado para varrimentos laser scanning, porém



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto

trata-se de uma ferramenta que contempla várias tecnologias combinadas com mobilidade. O RABIT™ foi concebido para ser um dispositivo automatizado que simultaneamente reúna dados quantitativos com várias tecnologias de avaliação não destrutivas e as combina num diagnóstico abrangente de modo a representar as condições do tabuleiro de uma ponte, tanto à superfície como no interior. O equipamento é dotado de várias características: GPR (Ground Penetrating Radar) usado para detetar a deterioração suspeita ou aparente, ondas de superfície ultrassónicas que avaliam parâmetros tais como o módulo de elasticidade, sistema GPS permitindo assim coordenadas de localização exata, captura de imagens de alta resolução permitindo um registo em alta definição do tabuleiro, a produção de fotografias 360° das características da ponte e ainda integra a capacidade de detetar corrosão no interior do betão através da medição da resistividade elétrica, que localiza zonas em que o nível de humidade e outros contaminantes não se encontram dentro dos padrões aceitáveis. Assim sendo, esta ferramenta tem capacidades para minimizar os impactos ambientais negativos, reduzir significativamente os custos aumentando a produtividade, exige menos pessoas no local e simplifica grande parte das operações por parte dos inspetores. Apresenta-se o equipamento de seguida na Figura 17.

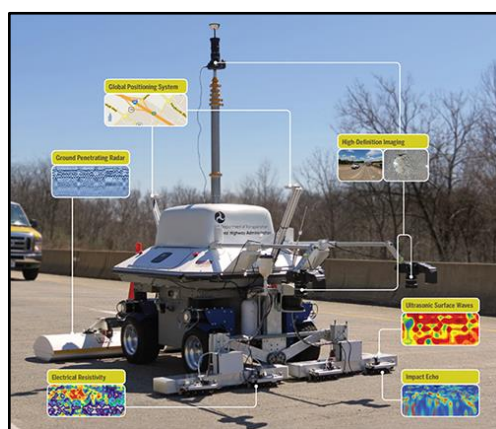


Figura 17-RABIT™

- VANT

Muitos dos processos atuais, requerem o encerramento de vias de tráfego, soluções aleatórias para o trânsito e equipamentos especializados de inspeção. Isto não só aumenta os custos de todo o ciclo de vida de uma ponte, como também aumenta o risco para os utentes das infraestruturas, uma vez que as questões que afetam a integridade estrutural podem não ser atendidas (Hachem, Zografos, & Soltani, 1991).

A adoção de tecnologia autónoma para inspeções de pontes foi dificultada muitas vezes pela incapacidade de avaliar com precisão a deterioração de componentes críticos tais como, juntas de dilatação ou aparelhos de apoio pelas imagens digitais recolhidas por sistema VANT, devido às características insuficientes que contemplavam tanto a nível da capacidade gráfica dos equipamentos fotográficos, como das capacidades de voo que ofereciam (estabilização e tempo de voo). Entretanto, com o avanço da tecnologia tanto a nível da qualidade fotográfica como a nível da estabilidade da tecnologia de veículos aéreos autónomos, permitiram avaliar com precisão este tipo de componentes e outros (B., Guan, Jo, & Blumenstein, 2015). Assim sendo, com os avanços recentes em tecnologia de voo e capacidades de controlo, que testemunhou a inclusão da IMU (unidade de medição inercial), GPS, bússola magnética, entre outras tecnologias de navegação, juntamente com reduções significativas nos custos, provocaram o desenvolvimento de veículos aéreos não tripulados, para monitorização de aplicativos, e mais recentemente para a inspeção de infraestruturas (Adams, Levitan, & Friendland, 2013).

O uso de veículos aéreos não tripulados oferece um potencial significativo na avaliação da condição de pontes, permitindo que os utilizadores coletem imagens aéreas de um sistema fotográfico montado no equipamento. Estes sistemas aéreos permitem que os inspetores ultrapassem restrições impostas pelos processos tradicionais de inspeção terrestre e ainda oferece um potencial de preenchimento de algumas lacunas nos sistemas de gestão de obras de arte. O uso de VANT neste tipo de contexto permite diminuir significativamente o risco para os inspetores e outros trabalhadores, eliminando a necessidade de se aproximar da estrutura e inspecionar de forma manual cada componente, permitindo assim a automatização do processo de inspeção.

A utilização dos veículos aéreos não tripulados combinada com a técnica da fotogrametria, tornam estas ferramentas bastante apelativas, com custo-benefício bastante atrativo. A fotogrametria aérea tem mais vantagem face à terrestre quando se pretende analisar objetos de grandes dimensões, uma vez que tem a capacidade de atingir planos que por meio terrestre seriam inacessíveis. A fotogrametria aérea pode ser dividida em dois tipos: oblíquas e verticais. Na fotogrametria oblíqua o objeto é visto com um determinado ângulo, o que produz ao olho humano uma perceção de profundidade e definição da imagem. Na fotogrametria vertical, é produzida uma imagem predominantemente plana (Fernandes, Ramos, & Fernandes, 2016). Genericamente, a fotogrametria consiste na transformação de imagens planas em imagens



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

tridimensionais, o que só é possível com auxílio de modelos matemáticos, onde é abordada a forma como se unem os pontos de várias fotografias sobrepostas, de forma a obter-se uma nuvem de pontos. A fotogrametria representa uma técnica alternativa para os procedimentos de levantamento manuais, uma vez que permite obter uma grande densidade de informação de uma forma rápida através de recolha de fotografias, em alternativa a levantamentos manuais que são bastante mais morosos e não tão precisos. Permite ainda registar com precisão a forma real dos objetos, as suas irregularidades e imperfeições decorrentes do processo construtivo, e as deformações e danos decorrentes do ciclo da vida do edifício (Dezen-Kempton & al, 2015). De modo geral, esses equipamentos são projetados para tirar fotografias de cima para baixo, fazendo levantamentos de elementos no solo. Assim, o inspetor necessita de interagir com os técnicos dos equipamentos para que sejam feitas as adaptações necessárias (Sarkis & Sarkis, 2016). Dado que para se obter os resultados desejados dos levantamentos para uma inspeção de obras de arte, estes equipamentos devem ser especialmente preparados para o seu uso.

Nos dias de hoje, já se podem verificar alguns equipamentos que foram desenvolvidos especificadamente para atos de inspeção, tal como em pontes, e desta forma respondem a solicitações presentes por parte dos inspetores.

Apresenta-se de seguida o senseFly albris (Figura 18), trata-se de um VANT giratório, inteligente, concebido para mapeamento a distâncias reduzidas com alta qualidade. Está equipado de piloto automático e GPS, sistema de estabilização, câmara de alta resolução com 38 megapixéis e ainda sensores ultra-sónicos que permitem manter distâncias frontais dos objetos entre os 3 e 5 metros. Tem um tempo de voo máximo de 22 minutos, uma velocidade máxima de 8m/s, uma resistência ao vento automática de igual valor e ainda deteta objetos até uma distância de 6m. Este equipamento enquadra-se perfeitamente para trabalhos de inspeções em pontes, permitindo fazer levantamento de alta resolução em zonas de difícil acesso, como a face inferior das pontes, sendo igualmente vantajoso para realizar trabalhos de campo mesmo em áreas que não seriam possíveis chegar a pé ou de barco. Este equipamento já foi utilizado em casos de estudo e apresentou resultados de alta precisão de posição em toda a nuvem de pontos que executou (Álvarez, Roze, Halter, & Garcia, 2017).



Figura 18-SenseFly albris

Para além deste tipo de equipamento existem outros que se encontram em fase de estudo e desenvolvimento por vários locais do mundo, como no Brasil (Sarkis & Sarkis, 2016) e em Minnesota, Estados Unidos da América (Lovelace, Engineers, & Inc., 2015) que utilizou o Aeryon SkyRanger. Este equipamento oferece uma grande tolerância ao vento, um tempo de voo até 50 minutos juntamente com altitudes que podem alcançar os 450m, qualidade fotográfica de 15MP, mas que negativamente não permite captar de baixo para cima.

Posto isto, a tecnologia destaca-se na qualidade adequada da imagem para a realização das inspeções em obras de arte de acordo com os requisitos regulamentares, na acessibilidade em zonas de difícil acesso, aumenta a segurança dos inspetores e trabalhadores envolvidos e ainda reduz a dependência do encerramento de vias de tráfego, podendo ser este custo mais significativo para a manutenção de uma obra de arte (Kamya, 2010). Contudo, nem todos os equipamentos estão equipados e desenvolvidos para atividades de inspeção em obras de arte sendo que necessitam de desenvolvimentos complementares.

Por último, é importante referir que em Portugal qualquer aeronave, estando os veículos aéreos agrupados nesse grupo, está sujeita a normas legais e regras de segurança. Assim sendo, antes de proceder a qualquer levantamento com recurso a este tipo de equipamento, é necessário cumprir as regras obrigatórias impostas pela Autoridade Nacional de Aviação Civil. Uma delas passa pelo preenchimento do formulário para a operação de sistemas aéreos não tripulados e execução de levantamentos aéreos em território nacional. O formulário deve ainda ser submetido ao Gabinete da Autoridade Aeronáutica Nacional para obter a autorização para efetuar as atividades pretendidas.

- Fotografia 360°

A fotografia panorâmica, também conhecida como fotografia de grande formato, é uma técnica que reúne múltiplas imagens em conjuntos a partir da mesma câmara (Renato, 2012). O objetivo

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

é criar uma fotografia única e abrangente. A palavra ‘‘panorama’’ deriva das palavras gregas *pan* (tudo) e *hórama* (para ver), tendo como significado ‘‘tudo a vista’’ e foi dado por pintores que pretendiam capturar uma paisagem com uma visão mais ampla do que observavam com os seus próprios olhos.

As imagens de formato panorâmico possuem um encanto característico, já que se adequam ao nosso ângulo de visão natural, sendo esse mais amplo na horizontal do que na vertical, oferecendo uma sensação de espaço e liberdade visual única. A sua função é mostrar conteúdos que não se conseguem alcançar com uma fotografia normal ou num campo de visão comparável ou maior que a do olho humano, de forma que o utilizador se sinta imerso no ambiente registado (Ribeiro, 2012).

Hoje em dia, o interesse pela fotografia panorâmica é cada vez maior, sendo que antigamente essa técnica implicava custos elevados em equipamento especializado e hoje pode ser realizada pela maioria das câmaras digitais com recurso a um programa apropriado. Ainda assim, por muito acessível que seja, nem sempre as câmaras e programas estão preparados para fazer panorâmicas usando a câmara na posição vertical, razão pela qual é necessário, muitas vezes, dominar a técnica mais tradicional, requerida para produzir fotografias panorâmicas (Santos J., 2010). No entanto, estão a ser desenvolvidos e comercializados equipamentos, tais como o Ricoh Theta, GoPro Fusion, Samsung Gear 360°, apresentados na Figura 19, que produzem fotografias 360° sem qualquer necessidade de domínio com as técnicas de levantamentos de fotografias panorâmicas. Essas máquinas fotográficas estão equipadas com duas lentes de olho de peixe em oposição cuja montagem tem efeitos semelhantes a uma lente esférica permitindo assim captar fotografias 360°. A máquina Ricoh Theta capta fotografias com resolução de 12MP, resolução máxima de vídeo em 4K com 30fps e possui uma memória interna de 8Gb. Por seu lado, o equipamento Samsung Gear apresenta características muito similares ao Ricoh Theta sendo que gera fotografias com 15MP e tem uma resolução máxima de vídeo em 4K com 24 fps. No entanto a GoPro Fusion diferencia-se dos dois equipamentos anteriores sendo que apresenta uma resolução de vídeo de 5.2K com 30fps.



Figura 19-Ricoh Theta (a); Samsung Gear 360° (b); GoPro Fusion (c)

Nestes equipamentos, a projeção da fotografia panorâmica é feita numa esfera onde o espetador imerge no seu centro e essas panorâmicas esféricas são utilizadas para a construção de visitas virtuais.

Designa-se por visita virtual às fotografias panorâmicas de 360° quando ligadas umas às outras através de *hotspot* (Jacobs, 2004).

As visitas virtuais permitem de forma fácil e interativa visualizar um espaço em todas as direções. O utilizador tem a possibilidade de se movimentar com o rato através de panoramas esféricos, que permitem visualizar o espaço fotografado de forma realista como se encontrasse no local. As visitas virtuais constituem fotografias panorâmicas, mas ainda conteúdos como textos, vídeos, documentos, etc. Estas visitas proporcionam experiências multimédia interativa, permitindo visitar os diferentes espaços de um local em realidade virtual e aceder à informação disponível de forma rápida e intuitiva. Desta forma, permite ao utilizador interagir ou navegar num ambiente virtual, através de um computador ou outra tecnologia que o permita.

Este tipo de visita pode estar disponível através de páginas *web* (HTML 5.0), ou de algum *plugin* que permita ler ficheiros deste tipo, e assim estar disponível em qualquer local do mundo. Em suma, as visitas virtuais são uma excelente forma de dar a conhecer locais e ter acesso a informação associada ao mesmo. De notar que com todas estas vantagens, a visita virtual não pretende omitir, nem desvalorizar a realidade, simplesmente permite divulgar e transmitir informação sobre um local, podendo estar em contacto virtual com a maior parte dos elementos. Por fim, para a construção de uma visita virtual existem vários *softwares*, tais como o Pno2VR (Garden Gnomw Software) (Figura 20) e KR pano (Figura 21), que para além de contemplar várias especificidades na navegabilidade da visita, convertem a imagem panorâmica de

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

extensão JPEG num ficheiro *flash* de extensão SWF, que permite assim criar as ligações entre as várias fotografias 360° em qualquer sistema informático.

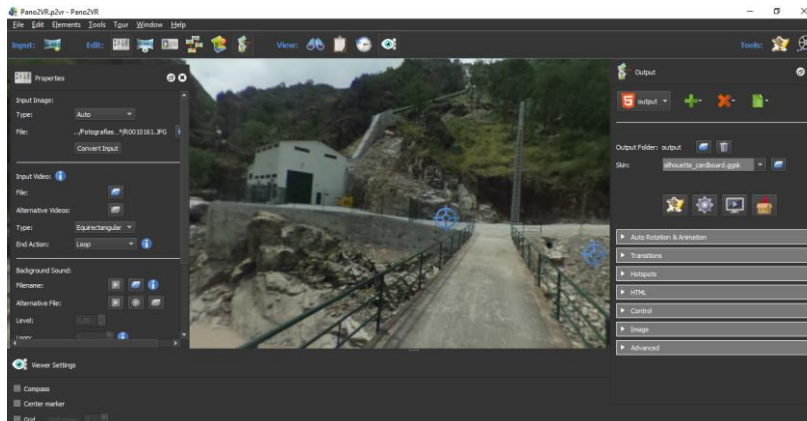


Figura 20-Software Pano2VR



Figura 21-Software KRpano

## 2.5 Building Information Modelling aplicado nas inspeções

### 2.5.1 O conceito BIM

O *Building Information Modelling* (BIM) é atualmente reconhecido como um importante desenvolvimento na indústria da arquitetura, engenharia e construção, estando conotado com uma mudança de paradigma no processo de execução dos projetos das diferentes especialidades e ainda, mais recentemente, ligado à gestão da manutenção e inspeções, relativamente a obras de engenharia.

O BIM pode, muito genericamente, definir-se como uma tecnologia de modelação e um conjunto de processos associados, para produzir, comunicar e analisar modelos de edifícios e outras obras (Becerik-Gerber & Kensek, 2010).

### 2.5.2 O BIM FM em edifícios

Hoje em dia, o conceito de Facility Management tem alargado as suas vertentes para o campo da manutenção de estruturas. Segundo a IFMA (*International Facility Management Association*), a gestão de instalações passa por um processo interdisciplinar, que se dedica particularmente à manutenção e preservação de edifícios, com o objetivo de garantir a funcionalidade da construção durante o seu ciclo de vida. Facility Management representa uma abordagem integrada para a manutenção, melhoria e adaptação de edifícios de uma organização, de modo a promover um ambiente fértil que suporte os objetivos principais da mesma (Pärn, Edwards, & Sing, 2017). Nesse campo, quer na gestão global ou simplesmente na manutenção de edifícios, o BIM veio auxiliar as operações de manutenção e conservação, tornando as mesmas mais rápidas, fiáveis e precisas. Isto deve-se ao facto de toda a informação relativa às estruturas se encontrar concentrada apenas numa só plataforma, e também devido à grande capacidade de representação 3D (Goedert & Meadati, 2008). Qualquer operador responsável pela manutenção ou inspeção durante a fase de operação pode aceder ao modelo digital, tendo como objetivo, aceder a toda a informação que nele estiver contida. Permite inserir novos dados, sendo garantido que qualquer alteração efetuada ao modelo é automaticamente atualizada.

A colaboração e partilha entre os diversos intervenientes no processo, torna essencial a agilização da troca de dados entre sistemas diferentes e a correta transmissão de informação. Assim sendo, a transferência e partilha de informação 3D na representação de edifícios é feita através do formato aberto designado por *Industry Foundation Classes* (IFC), desenvolvido pela organização BuildingSmart, seguindo a normalização do modelo do produto (Eastman, 2010). É importante referir que existem discussões sobre as classes de IFC a usar em situações de inspeção e desafios futuros. Nos últimos anos, tem havido progressos relativamente a tornar os modelos de pontes internacionalmente aceites e ocorreu uma proposta de IFC-BRIDGE que ainda se encontra em fase de exploração (Yabuki, Lebegue, Gual, Shitani, & Zhantao, 2006). Efetivamente, os modelos IFC fornecem consistência dos dados para a indústria de Facility Management, permitindo assim obter um modelo integrado com uma base ideal para mais inteligência no software e, portanto, mais funcionalidade. Neste momento, apenas uma parte do modelo IFC está a ser reutilizado, logo, nem todas as funcionalidades são atualmente exploradas (Ballesty, 2007).

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

Um dos vários padrões da troca de informação é a COBIE (Construction Operations Building Information Exchange), sendo um padrão internacional ligado diretamente aos modelos BIM para projeto, construção e administração de ativos. Este padrão define o conjunto mínimo de informação que deve integrar um modelo IFC para operações de construção e manutenção (East, 2007).

Para alcançar um processo eficiente de implementação do BIM é necessário que os principais intervenientes do projeto discutam e elaborem um plano detalhado do processo BIM para acompanhar e gerir o projeto ao longo das suas fases. Para o mesmo, é necessário ter em consideração as normas e diretrizes BIM existentes (Isikdag & Underwood, 2010) e fornecer uma potencial solução que consiste em apoiar os intervenientes com um documento designado por plano de execução BIM (BEP – ‘*BIM Execution Plan*’) (Messner, Hunter, & Anumba, 2010). O Plano de Execução BIM (BEP) é um documento que fornece e esclarece como a informação deve ser gerida para garantir a interoperabilidade entre as partes interessadas, bem como alcançar os objetivos definidos numa fase prévia.

Ainda assim, é importante referir que um dos grandes motores de comunicação da metodologia BIM são as tabelas de LOD (Level of Development Specification) da BIMForum (BIMForum, 2017), que para além de definir os níveis de detalhe em termos de conteúdo da informação, estão relacionadas com a gestão da manutenção. A BIMForum definiu tabelas de LOD para edifícios que vão de 100 a 500.

### 2.5.3 Aplicação em Obras de Arte

Nos últimos anos, a maioria das práticas de inspeção e manutenção em obras de arte foram tipicamente baseadas em métodos de recolha de informação de forma manual, apoiadas por papel, limitando significativamente a capacidade de transferir o conhecimento e a informação adquirida ao longo da vida do ativo, de forma a não beneficiar os intervenientes futuramente (Chan, Guan, Hou, & al., 2016). Mesmo que a informação recolhida durante os atos de inspeção e manutenção fosse digitalizada e colocada, por exemplo, numa nuvem (Mell & Grance, 2010), que permite o armazenamento de dados e a consulta em qualquer lugar do mundo, não vai permitir que haja, neste tipo de solução, um repositório de informação integrado de fácil e rápida consulta, que possibilite ao mesmo tempo relacionar toda a informação.

Recentemente, foi desenvolvida uma plataforma tecnológica que permite a gestão sustentável de infraestruturas rodoviárias, designada de ‘SUSTIMS’, a mesma consente a incorporação de toda a informação de múltiplas fontes, processando-a e produzindo recomendações de intervenção (Neves & al., 2015).

Por sua vez, a empresa BETAR detém um sistema de gestão que constitui uma ferramenta através da qual o gestor dispõe de toda a informação relativa à infraestrutura em formato consolidado ou em relatórios detalhados (Mendonça, Brito, & Milhazes, Aplicação de gestão de obras de arte - goa- nova geração, 2010).

Como resposta às dificuldades existentes neste tipo de processos, a metodologia ‘Building Information Modelling’ permite que, durante uma ação de inspeção, o utilizador identifique anomalias em componentes da construção. Diretamente no modelo, será associada a causa provável, a solução recomendada, o método de reparação e fotografias. A ferramenta permite uma diminuição das probabilidades de erro e obtenção de ganhos de produtividade (Azhar, 2011).

Os modelos BIM têm-se apresentado como uma excelente ferramenta, não só durante a fase de planeamento e de construção, mas também na fase de manutenção, principalmente, devido à sua capacidade de armazenamento de informação ligada à representação tridimensional (3D) (Goedert & Meadati, 2008). Contudo, assegurar uma atualização dos modelos isenta de omissões e erros é uma das principais e maiores dificuldades averiguadas na utilização dos modelos BIM, na fase de exploração de uma construção.

O BIM também oferece um potencial notável, quando integrado com a captura de informações geométricas, baseado em nuvens de pontos (Shanbari & al, 2016). O processo mais comum na aquisição de dados geométricos de pontes é baseado em levantamentos manuais, o que torna o processo muito dispendioso e muitas vezes sujeito a erros.

Ultimamente, o Laser Scanning tem sido utilizado para melhorar o controlo de qualidade, devido à sua elevada precisão na medição num intervalo de tempo muito reduzido, e a uma alta velocidade de aquisição de dados (Tang, Akinci, & Garret, 2007). O uso de Drones e o recurso



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

a fotos 360° permite também a obtenção de informação relevante para a modelação geométrica e informação adicional (Dezen-Kempton & al, 2015).

Recentemente, desenvolveu-se um projeto denominado 'SeeBridge', que visa o desenvolvimento de uma solução abrangente para a pesquisa rápida e inteligente na avaliação de pontes. Na abordagem SeeBridge, várias tecnologias avançadas de deteção remota, incluindo a digitalização Laser Scanning, fotogrametria e vídeo, são utilizadas para capturar de forma rápida e com precisão o estado de uma ponte (Sacks, et al., 2016). Um software de deteção de objetos em pontes também se encontra em fase de evolução para a reconstrução da geometria 3D, a partir de nuvem de pontos (Sacks, R.; Kaner, I.; Eastman, C. M., 2010).

Segundo a perspectiva de McGuire, Atadero, Clevenger & Ozbek (2014), e salientando o estudo realizado pelos mesmos, verifica-se a apresentação de um método protótipo de implementação que acompanha e avalia a condição estrutural de pontes. Este método vai utilizar a construção de modelação de informação de softwares BIM para agregar e analisar os dados relacionados com a inspeção, avaliação e gestão de pontes. Os resultados deste estudo sugerem que o BIM pode efetivamente facilitar a inspeção e avaliação de pontes, o que futuramente, beneficiará as empresas do ramo da construção e levará a uma prática mais automatizada. O objetivo de uma inspeção numa ponte é fornecer aos inspetores dados que representam a condição estrutural atual, e nesse contexto, a metodologia BIM tem largamente capacidades de responder a essas necessidades.

Conclui-se assim, que o grande desafio que surge relativamente à prática de inspeção e manutenção nas pontes é conseguir uma contribuição positiva do uso BIM, nomeadamente, na consulta de informação fornecida pelo modelo, e posterior atualização com dados relativos à inspeção efetuada no local. Permite-se assim, que haja um repositório de informação, de fácil e rápida consulta, possibilitando relacionar a informação ao mesmo tempo que se ultrapassa a dificuldade de perda da mesma, e se melhore a monitorização. Para tal, é necessário a elaboração de um plano de execução com definição de regras, processos e metodologias de inspeção. Havendo uma ausência de informação na literatura sobre planos de execução BIM para o contexto de Facility Management de pontes, o apoio em planos congéneres para edifícios, será uma grande valia como inspiração para o alcance da implementação BIM nesse contexto.

### **Capítulo 3. ACOMPANHAMENTO DE CASOS PRÁTICOS EM INSPEÇÕES**

Neste capítulo são descritos dois casos específicos de acompanhamentos de casos práticos em inspeções, de forma a analisar e compreender o processo atual que é realizado por parte de inspetores especializados na área, bem como a análise de dados recolhidos ao longo das inspeções. A incorporação numa situação prática permite obter outra visibilidade e conhecimentos que não são possíveis através de leituras e bases teóricas, tornando fundamental essa integração neste contexto.

Um dos casos práticos é uma inspeção principal e de rotina numa passagem inferior da A24 situada em Lamego, no distrito de Viseu, e a segunda é uma inspeção especial numa ponte em Ruivães, localizada no Gerês.

Trata-se de duas experiências distintas, uma mais dedicada ao contexto prático da BETAR, na qual realiza uma inspeção periódica para um cliente, e outra, também dedicada a um cliente, mas com um forte pendor de experimentação de novas tecnologias.

O objetivo principal em ter realizado e participado nestas inspeções era entender de que forma se desenrolavam em campo e qual as dificuldades que se apresentavam.

#### **3.1 Análise e acompanhamento do processo atual de inspeções na BETAR**

A BETAR é uma empresa que foi fundada em 1973 e tem desenvolvido estudos e projetos no âmbito de Engenharia Civil, em particular de edifícios e pontes. Lançou em 1998 o sistema de Gestão de Obras de Arte – GOA<sup>®</sup>, que se tornou um produto líder de mercado e instalado na totalidade das concessionárias portuguesas (Almeida, 2003).

A BETAR enquanto empresa que já adota BIM noutros departamentos, ainda não efetuou a migração no contexto de inspeções dentro desse campo e, portanto, tem um procedimento tradicional não baseado em BIM.

Por conseguinte, sendo a BETAR uma empresa especializada nas áreas de inspeção e gestão da manutenção em pontes e que procura seguir os avanços tecnológicos, teve a amabilidade, em colaboração com a Universidade do Minho, que uma parte desta dissertação ocorresse em ambiente de empresa com a realização de um estágio. No entanto, a distância existente entre as

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

instalações da BETAR e da Universidade do Minho, não permitiu a permanência a tempo inteiro em Lisboa, mas possibilitou a consulta de informação e documentos e ainda a discussão de situações relevantes com o Eng. Vitor Brito, supervisor na empresa e responsável pelo trabalho executado dentro da mesma. Ao longo do trabalho desenvolvido com a empresa houve a oportunidade de uma visita específica a uma passagem inferior, em que se realizou um acompanhamento de um caso prático de uma inspeção, de modo a analisar e compreender o processo atual da BETAR na realização de inspeções. Posto isto, iremos apresentar os resultados e a aprendizagem que foi adquirida ao longo desse dia.

### 3.1.1 Enquadramento geral da inspeção, estratégias e técnicas

Os seguintes trabalhos, realizados no contexto de inspeção, foram executados para a Egis Road Operation Portugal S.A. no dia 31/05/2017, e efetuaram-se numa passagem inferior da A24 situada em Lamego, no distrito de Viseu, junto às instalações da entidade responsável pela infraestrutura. Trata-se de uma estrutura em betão armado, constituída por 3 vãos livres de 9.6 metros para as extremidades e 22.3 metros para o vão central. A passagem inferior tem um comprimento total de 45.1 metros, uma largura de 37.5 metros e é constituída por dois alinhamentos de pilares com altura total de 5.4 metros e 6.3 metros. Como pode verificar-se na Figura 22, no dia da inspeção, as condições climáticas estavam favoráveis, céu limpo com sol, uma temperatura de 27°C, mas com algum vento.



Figura 22-Passagem inferior A24

Na ida ao local, efetuou-se uma inspeção principal e de rotina, obtendo assim, informação sobre o estado geral da estrutura e de cada componente que a constitui. De cinco em cinco anos as inspeções de rotina coincidem com as principais, pelo que o trabalho de campo é comum. No entanto, foram produzidos dois relatórios independentes com diferentes objetivos.

Como se pode verificar na Figura 23, a estrutura já foi alvo de várias atividades de inspeção tendo sido a última uma inspeção principal em 2011. A informação apresentada é proveniente do sistema GOA utilizado pela BETAR.

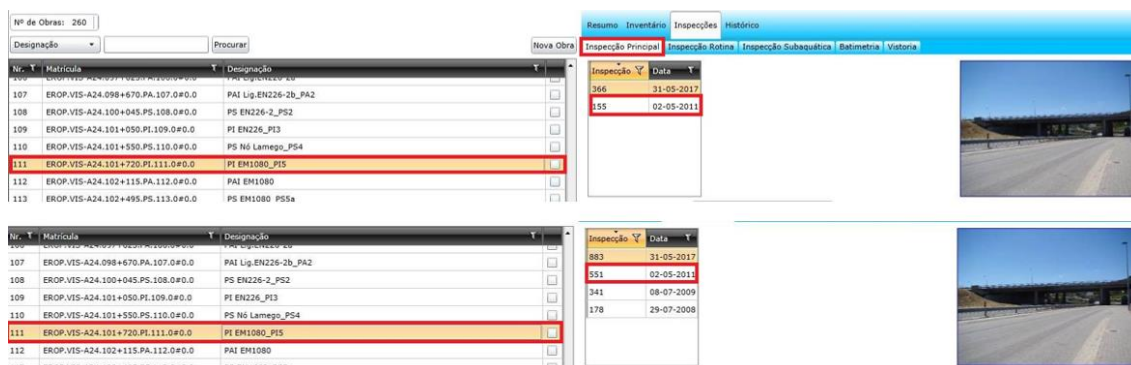


Figura 23-Histórial de inspeções anteriores da passagem inferior na A24

Cada obra está identificada por um código, sendo este: EROP.VIS-A24.101+720.PI.111.0#0.0 e tem como objetivo conter uma informação própria, permitindo ser distinguida perante as informações que estão associadas a cada uma delas. Trata-se de uma nomenclatura própria da BETAR, que permite ter as obras organizadas no sistema GOA, e permite também aos inspetores uma referência em campo.

Passa-se a explicar o significado das parcelas da nomenclatura da passagem inferior: Cliente.Distrito.Via.km.TipodeObra.NúmerodeObra.ReferênciasàObraMãe.

Antes de dar início à inspeção, foi necessário efetuar uma formação de ‘‘Regras de Segurança para realizar trabalhos na A24’’, orientada pelo formador Rui Costa e organizada pela Egis Road Operation Portugal S.A.. Essa formação aplica-se a qualquer entidade que realize trabalhos na A24 e tem como objetivo estabelecer um procedimento geral de segurança que deve ser respeitado por todas as entidades que intervenham na autoestrada. Qualquer entidade que realize trabalhos na A24 deverá ainda fazer-se sempre acompanhar da autorização de trabalhos fornecida pela Egis Road Operation Portugal S.A., sendo que a falta da apresentação desse documento quando solicitado por um colaborador da entidade responsável é razão para a imediata suspensão de trabalhos.

Posto isto, reuniam-se as condições e os procedimentos legais para a realização da inspeção principal na passagem inferior. É importante referir que, antes de dar início a qualquer atividade

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

de inspeção ou trabalho, esta deve ser reportada ao colaborador do centro de controlo de tráfego da concessionária. No final, deve proceder-se da mesma forma.

Ao longo do percurso delineado para a realização da inspeção principal na infraestrutura os inspetores utilizaram as seguintes ferramentas:

- Fichas auxiliares com as anomalias já identificadas de inspeções anteriores;
- Ficha de campo para a identificação de novos danos ou patologias identificadas;
- Fichas com a designação e nomenclatura de trabalhos de manutenção, trabalhos de reparação e a lista de anomalias;
- Gravador de voz;
- Máquina fotográfica;
- Régua para medir fendas.



(a)



(b)

Figura 24-Ficha de campo e fichas auxiliares BETAR (a); Régua de medir fissuras BETAR (b)

No Anexo I podem ser consultadas as fichas de trabalhos de manutenção, lista de anomalias e os trabalhos de reparação que são usadas em campo pela BETAR. É importante referir que essas fichas são de autoria da BETAR.

O processo de inspeção passa, essencialmente, pela verificação das anomalias que foram identificadas em inspeções anteriores e se os trabalhos de reparação recomendados foram efetuados, a identificação de novas anomalias, e a classificação do estado geral da estrutura e de cada componente.

Na verificação de alguma ocorrência, os procedimentos efetuados passam pela verificação da existência da anomalia, gravação áudio, registo fotográfico e proposta de medida de manutenção ou reparação.

Quando o inspetor produz a gravação áudio relativamente a uma anomalia, refere de forma sistemática a seguinte informação:

- Componente;
- Número da fotografia;
- Localização;
- Descrição visual do dano;
- Medida de atuação.

Este procedimento tem como objetivo não só facilitar o trabalho do inspetor quando, após a inspeção, introduz a informação recolhida no sistema de Gestão de Obras de Arte, mas também obter um registo para além das anotações efetuadas em campo através das folhas de inspeção.

Verificámos, no decorrer da inspeção, algumas dificuldades por parte dos inspetores na sua realização, devido ao grau de exigência e às condições nas quais se desenrola. Apresentamos, de seguida, alguns desses obstáculos:

- Zonas de acesso dificultado;
- Identificação da localização e caracterização do dano;
- Gravação áudio dificultada por ruídos (vento, automóveis, etc.);
- Má comunicação entre inspetores perante os ruídos na zona inspecionada;
- As condições atmosféricas dificultando a anotação da informação nas fichas de inspeção (vento, sol, etc.).

De facto, os inspetores não conseguiram verificar de perto algumas zonas, tais como a base inferior do tabuleiro, sendo que essa ficou fora do alcance e não permitiu uma adequada visualização para a identificação de danos com maior grau de precisão. A compreensão da identificação das zonas referidas em inspeções anteriores também é uma das dificuldades, dado que, na maioria das vezes, quem realiza esse tipo de operação não é direcionado para a mesma obra de forma periódica e terá uma abordagem diferente na identificação da anomalia ou zona afetada.

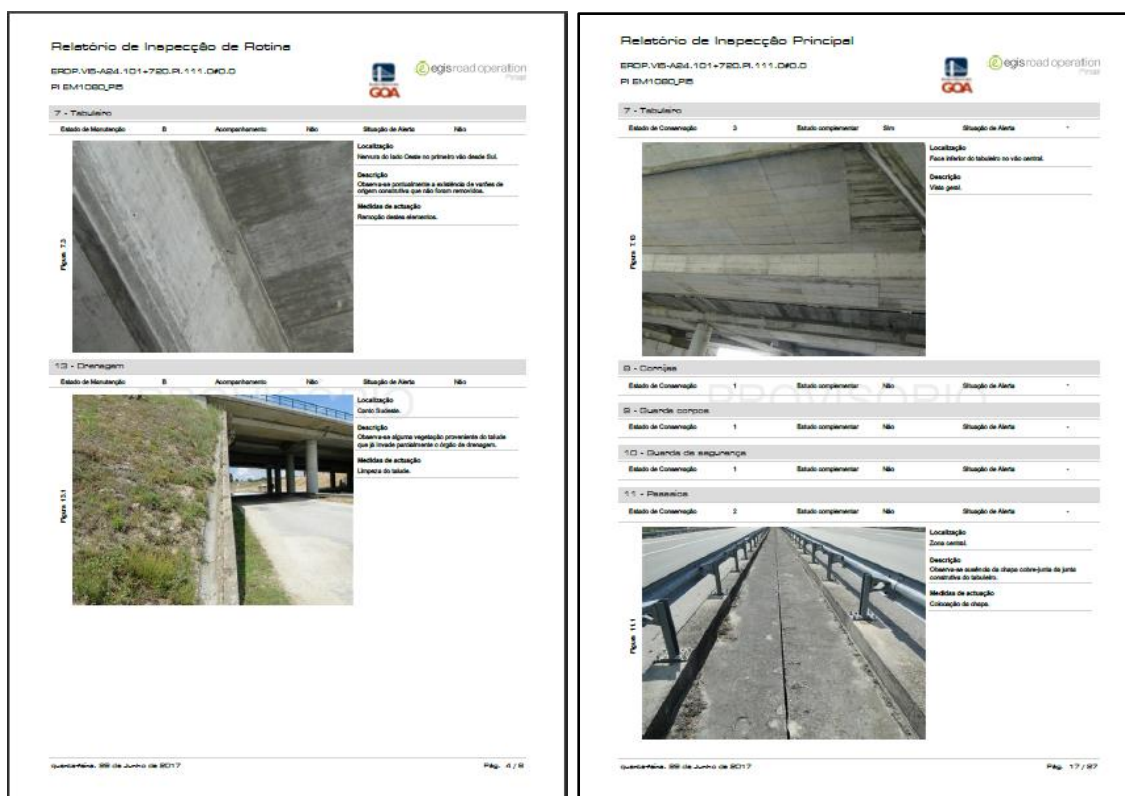
Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto

### 3.1.2 Resultados produzidos

O acompanhamento da inspeção realizada na passagem inferior, junto dos inspetores da BETAR, permitiu, pois, uma perceção mais alargada sobre as técnicas utilizadas em campo para a realização de uma inspeção e procedimentos utilizados pela empresa no decorrer da mesma.

Existe, de facto, um sistema na planificação das atividades e na recolha da informação muito bem delineado, que cumpre perfeitamente os requisitos para a realização deste tipo de inspeção; foram, todavia, identificados alguns dos obstáculos acima referidos, que diminuem a produtividade e o automatismo de certas tarefas.

Depois de realizada a inspeção, foi também possível analisar os resultados que foram produzidos pelo sistema GOA, após a introdução de toda a informação recolhida ao longo da inspeção pelos inspetores, do que resultaram os relatórios apresentados na Figura 25.



(a)

(b)

Figura 25- Extrato dos relatórios de inspeção de rotina (a) e inspeção principal (b) da passagem inferior – GOA

O relatório de inspeção de rotina contempla a seguinte informação:

- Fotografias
- Estado de manutenção
- Necessidade de acompanhamento
- Situação de alerta
- Localização da patologia/dano
- Descrição
- Medidas de atuação

Consequentemente, com o avanço da tecnologia e as novas técnicas existentes no mercado de trabalho aplicadas em metodologias de base informática, existem desafios e oportunidades que devem ser aproveitadas de forma a melhorar todo o processo, aumentar a produtividade da empresa, segurança e qualidade ao longo de uma atividade de inspeção.

## **3.2 Inspeção da Ponte em Ruivães**

### **3.2.1 Enquadramento geral, estratégias e técnicas**

O presente trabalho detalha um conjunto de atividades realizadas por uma equipa da Universidade do Minho em abril de 2016, com coleção de inúmeras informações de uma inspeção especial efetuada numa ponte em Ruivães, a qual ficou registada em relatório. Pela riqueza de informação que esta inspeção tem e pela oportunidade que daí advinha para gestão de informação, decidimos colocar este exemplo, também, como um caso de estudo em que o autor desta dissertação analisou toda a informação que foi coligida e também se deslocou ao local para inspeções complementares.

A inspeção que se realizou na Ponte do Saltadouro, situada em Ruivães, é mais análoga a uma inspeção especial, e surgiu no contexto da necessidade de caracterização da condição estrutural atual da ponte, tendo em conta a ausência de documentação relativamente à mesma (ausência de peças desenhadas e escritas). Os trabalhos que irão ser aqui reportados foram solicitados pelo Grupo DST, que também acompanhou a realização dos mesmos.

A ponte do Saltadouro foi construída durante a década de 1950, e está representada na fotografia da Figura 26.





Figura 26-Fotografia do aspeto geral da Ponte do Saltadouro

Trata-se de uma ponte em betão armado, constituída por dois vãos livres de aproximadamente 16.8 metros, suportados por um pilar central. Ambos os vãos da ponte são simplesmente apoiados nos encontros e no pilar. A seção transversal do tabuleiro corresponde a uma viga dupla (normalmente designada por “ $\pi$ ”). É importante assinalar que existe uma diferença de profundidade relativamente ao leito do rio sob a ponte, o que acabou por ter consequências sobre os procedimentos de inspeção que foi possível efetuar. Uma vez que a inspeção da ponte requereu o acesso da equipa de inspeção à face inferior do tabuleiro, foi necessário que a cota da albufeira da barragem permitisse a montagem de andaimes para inspeção.

Após uma breve introdução sobre os aspetos gerais da ponte e as dificuldades em que essa se encontrava irá ser detalhado de forma sistemática o conjunto de tarefas que foram levadas a cabo ao longo da inspeção realizada e as correspondentes ilações.

A estratégia de inspeção incidiu sobre a combinação de várias técnicas para levantamento geométrico, análise de patologias, e caracterização de materiais (incluindo colheita de amostras). Toda a inspeção foi realizada por uma equipa da Universidade do Minho, com acompanhamento e apoio de vários colaboradores da DST. Indique-se que os objetivos da inspeção transcendiam a mera afeição da informação necessária à capacidade de carga. De facto, pretendeu-se obter um conjunto relevante de informação que caracterizasse o estado de conservação da ponte e dos seus materiais de forma detalhada, proporcionando um acervo de informação para a gestão da manutenção deste ativo, particularmente com base em modelação BIM. Toda a informação recolhida nesta inspeção foi, pois, fundamental para que se desenvolvesse um modelo BIM no capítulo 5.

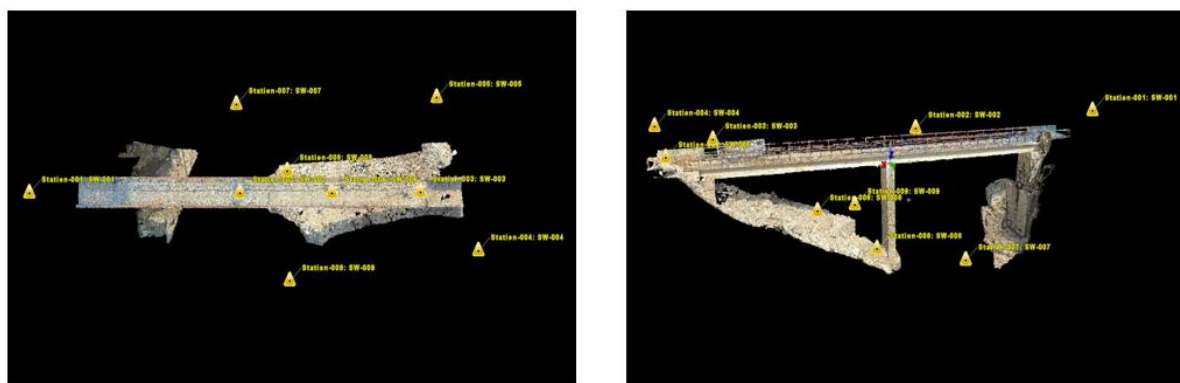
### 3.2.2 Identificação de patologias e respetivo levantamento

O levantamento geométrico da ponte foi inicialmente efetuado com recurso a fita métrica sempre que possível. No entanto, para distâncias iguais ou superiores a 7 metros, foi sempre usado um distanciómetro laser Hilti PD5 com precisão de +/- 1.5mm (Figura 27).



Figura 27-Distanciómetro laser Hilti PD5

Complementarmente ao levantamento efetuado com técnicas tradicionais, foi efetuado um varrimento “*laser scanning*” no dia 20 de maio de 2016, pelo Engº Luís Santos da Leica Geosystems Portugal, que amavelmente se dispôs a efetuar o levantamento para efeitos de demonstração da técnica. O equipamento utilizado foi o Leica ScanStation P40, caracterizado no capítulo 2. O equipamento foi colocado em sete diferentes locais de medição para que fosse possível fazer um levantamento completo, devidamente identificado na Figura 28. Do conjunto de levantamentos efetuados, resultou uma nuvem de pontos com mais de 170 milhões de pontos que adicionalmente incluem informação cromática sobre o alvo.



a)

b)

Figura 28-Nuvem de pontos vista em planta (a) e vista tridimensional (b) com identificação da localização das estações a partir do qual foi efetuado o levantamento com 'laser scanner'

Relativamente à identificação de patologias, de uma forma geral, o estado de conservação da ponte pode considerar-se qualitativamente bom, tendo em conta a idade da mesma e as técnicas, bem como as composições dos betões e os recobrimentos utilizadas na época de construção da

ponte. No entanto, havendo a necessidade de uma caracterização estrutural da ponte, foram realizados uma série de levantamentos e ensaios adicionais.

Fundamentalmente, na zona inferior do tabuleiro, o tipo de degradação mais recorrente correspondia à corrosão das armaduras com recobrimento reduzido, cuja expansão levou ao destacamento parcial de algum betão superficial, como se pode ver na Figura 29.

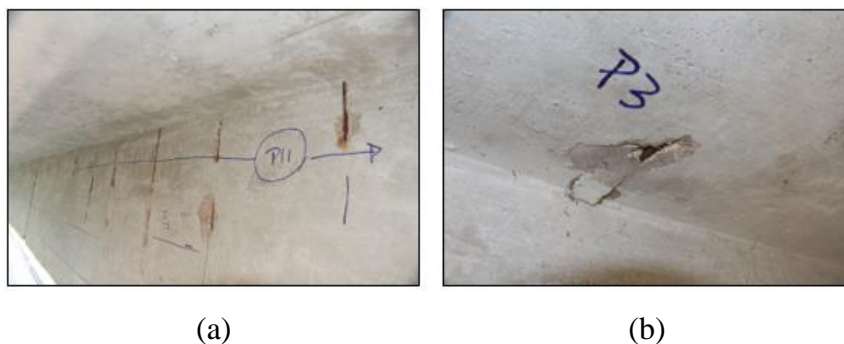


Figura 29-Corrosão e delaminação parcial na face lateral da viga (a) e na face inferior da laje (b)

A presença de delaminação do betão origina ligeiras variações da sua temperatura superficial, relacionadas com fenómenos de convecção/condução que são distintos nas zonas com delaminação. Por esse motivo, o recurso a imagens termográficas constitui-se como uma interessante possibilidade em inspeção de estruturas de betão armado para avaliar a potencial existência de processos de corrosão e delaminação em fases menos antecipadas. Desta forma, durante o processo de inspeção nesta ponte, foram captadas imagens com câmara termográfica de mão FLIR E50bx. Este equipamento permite obter imagens termográficas com resolução 240x180 pixels e um registo fotográfico com resolução de 3.1 MP. Apresenta-se na Figura 30 um par de imagens registadas no local de uma fotografia e a corresponde termografia, em que é possível verificar que a delaminação origina uma alteração de temperatura facilmente identificável na superfície do betão. A técnica foi aplicada sistematicamente em todas as superfícies visíveis e acessíveis da ponte, não tendo sido detetado nenhum caso de delaminação invisível à inspeção visual. Posto isto, e com os resultados obtidos através desta técnica, foi validada a potencialidade desta metodologia em inspeções.

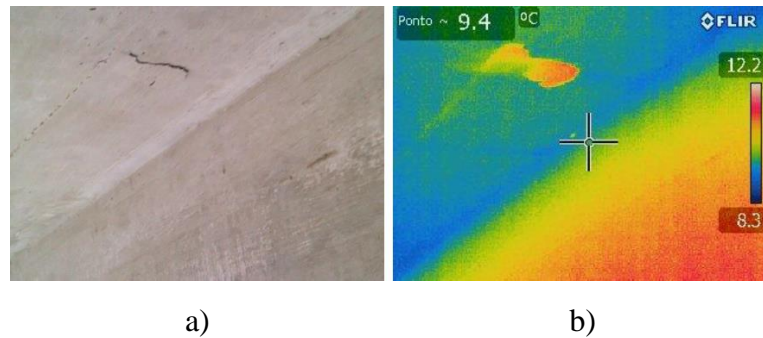


Figura 30-Fotografia (a) de imagem termográfica e (b) de delaminação na face inferior da laje

Adicionalmente às patologias de delaminação, verificou-se que existia alguma colonização biológica com musgo e vegetação ligeira em zonas como o encontro, em zonas de apoio das vigas, bem como nos acrotérios. A presença dessa colonização biológica pode ser verificada na Figura 31. Porém, a extensão das colonizações biológicas verificadas nestas zonas não eram suficientes para causar qualquer tipo de patologia relevante ao betão da ponte.

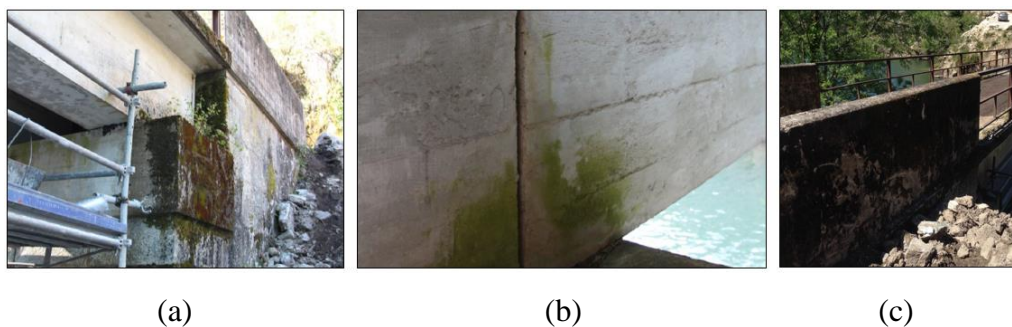


Figura 31-Colonização biológica no encontro (a), na zona de apoio das vigas (b) e nos acrotérios do encontro (c)

Ao longo da inspeção, foi realizada, numa face inferior do vão, um levantamento fotográfico exaustivo das faces interiores das vigas e da face inferior da laje. Esse levantamento permitiu mapear, de forma detalhada, todos os registos efetuados com marcador sobre o betão numa foto global para cada face (obtida por montagem), e permitindo, assim, a sua utilidade em vários contextos para procedimentos futuros de registo das anomalias identificadas na inspeção.

O mapeamento passou pela elaboração de fotos adjacentes sequenciadas, com sobreposição próxima de 50% entre fotografias. Para facilitar o processo de junção das fotografias separadas numa única fotografia de representação da face do elemento, foram marcados quatro símbolos distintos (X, O, +, Δ), como se pode verificar na Figura 30, espaçados de aproximadamente 50cm na direção longitudinal da face em estudo. Houve o cuidado em assegurar a presença de,

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

pelo menos, dois símbolos consecutivos, um dos quais coincidente com o da fotografia anterior, de forma a obter um nível de sobreposição adequado. Por fim, realizou-se uma assemblagem das fotografias, produzindo um único ficheiro de imagem para as três situações (face interior da viga direita, face interior da viga esquerda e da fase inferior do tabuleiro entre vigas). Apresenta-se, de seguida, na Figura 32, um conjunto de três fotografias parciais, correspondentes ao levantamento efetuado, onde se identifica facilmente a sobreposição.



Figura 32-Três fotografias consecutivas obtidas no levantamento da viga esquerda

O levantamento fotográfico completo da face interior da viga esquerda do vão pode ser consultado no Anexo II, onde também foi inserido um sistema de coordenadas relativas a cada conjunto de fotografias.

No que respeita à abertura de fendas observadas nas faces inferiores das vigas inspecionadas, medidas com recurso a microscópio ótico portátil VEHO VMS-004D, verificou-se que a abertura máxima de fendas observada foi de 0.27mm, e que a média das fendas medidas foi de 0.12mm. Considerou-se que estes valores são compatíveis com um adequado comportamento em serviço à luz das prescrições da EN1992-1-1.

Na Figura 33, pode observar-se a medição efetuada numa das fendas da Figura 34, com recurso ao microscópio ótico portátil, constatando que a abertura máxima da mesma ronda os 0.15mm.

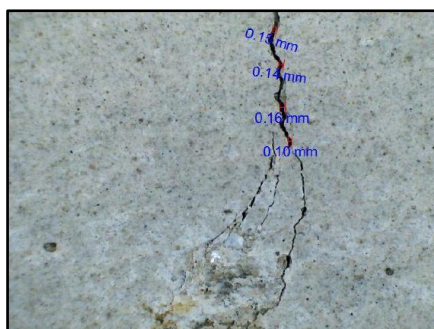


Figura 33-Imagem do microscópio ótico numa fenda da viga esquerda do vão com ampliação de 20x

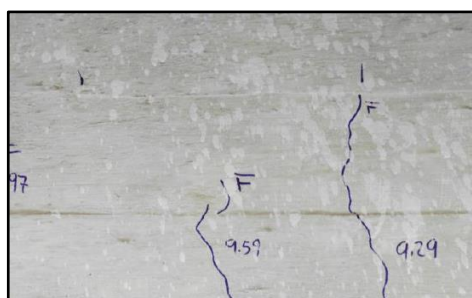


Figura 34-Algumas das fendas observadas na face interior da viga esquerda do vão

Por sua vez, de forma a proceder à caracterização das armaduras do tabuleiro, não tendo qualquer existência de peças desenhadas, nem de informação sobre os materiais utilizados, procedeu-se às tarefas de avaliar a localização e diâmetros das armaduras em locais-chave, tendo sido, para tal, necessária a utilização de dois detetores de armaduras.

Um dos detetores era baseado em indução magnética Hilti Ferrosan PS200, representado na Figura 35, muito fácil de manusear e que permite obter informação muito rápida sobre a localização das armaduras por 'aviso sonoro'. Este equipamento faculta informação que pode ser facilmente utilizada para a marcação das armaduras na superfície do betão (levantamento geométrico), bem como para apoio na definição de localização de carotes e janelas de inspeção. Se o recobrimento for conhecido, o PS200 também pode ser utilizado para a determinação de diâmetros de armaduras.



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto



Figura 35-Equipamento para deteção de armaduras - Hilti PS200

O segundo equipamento utilizado baseado em georadar foi o Hilti PS1000, que consiste numa sonda e num visor que permitem analisar in-situ os resultados da colheita de dados – ver Figura 36 e Figura 37. O detetor oferece ainda uma vantagem na avaliação de mais do que uma camada de armadura em peças de betão armado até profundidades da ordem dos 30cm e ainda, em pós processamento, é possível obter uma representação em corte e até tridimensional da imagem obtido pelo detetor.



Figura 36-Equipamento para deteção de armaduras - Hilti PS1000

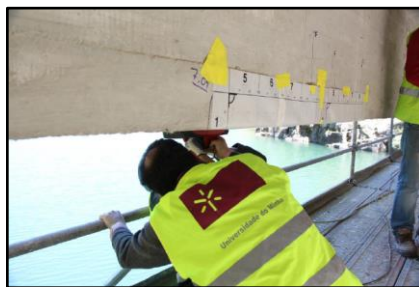


Figura 37-Inspeção de face inferior de viga em curso com o detetor Hilti PS1000

A título exemplificativo, mostra-se de seguida a Figura 38, relativa ao levantamento inferior da viga esquerda na zona do vão. É possível identificar a presença de cinco varões de grande diâmetro na direção longitudinal da viga, e duas armaduras transversais com espaçamento significativo.

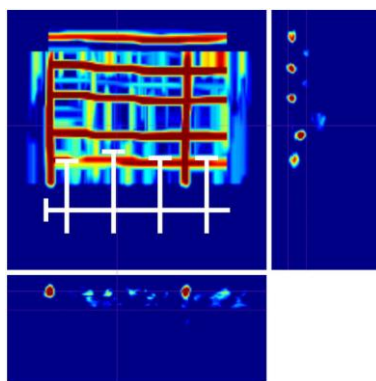


Figura 38-Imagem resultante do processo de detecção na face inferior da viga esquerda a meio vão

Assim sendo, comprovou-se, ao longo da inspeção, aquando da abertura posterior de janelas de inspeção, que os resultados obtidos através das deteções efetuadas pelos dois equipamentos eram de confiança, face aos resultados colhidos em todos os locais nos quais se efetuaram as janelas de inspeção.

Complementarmente às medições com detetores de armaduras, foram efetuadas três janelas de inspeção (Figura 39), denominadas por J1, J2, J3, das quais foi possível tirar ilações relativamente à constituição da armadura longitudinal da viga e à distância do eixo dos varões à face inferior da mesma, o diâmetro das armaduras longitudinais e transversais da laje, recobrimentos, entre outras informações fundamentais para a caracterização da disposição das armaduras do tabuleiro.



Figura 39 - Janelas de inspeção: J1, J2, J3

Por fim, a caracterização do betão foi efetuada com recurso ao esclerómetro de Schmidt (*in-situ*) e através da extração de carotes para posterior caracterização em laboratório. Os ensaios com esclerómetro foram realizados pelo procedimento típico com a realização de nove disparos espaçados de cerca 5cm entre si, numa matriz 3 x 3, para cada ponto de medição selecionado.



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

Foram testados vinte e quatro locais distintos dos quais foi possível constatar uma boa homogeneidade nas propriedades do betão da ponte.

Relativamente às carotes, foram extraídas sete com diâmetro aproximado de 90mm-100mm e altura pelo menos idêntica ao diâmetro. Após a extração das carotes e os ensaios realizados no laboratório da Universidade do Minho, obteve-se informação sobre a densidade do betão, diâmetro máximo do agregado e a resistência à compressão.

Para além dos ensaios e levantamentos geométricos que foram realizados ao longo desta inspeção, realizou-se uma ida ao local no dia 5 de maio de 2017 já por parte do autor desta dissertação, na qual se efetuou um levantamento fotográfico 360° de várias perspetivas e zonas da ponte, através da máquina Ricoh Theta. Permitiu, assim, o registo completo e a possibilidade da criação de uma visita virtual e ainda o mapeamento das patologias identificadas ao longo da inspeção. De seguida, apresenta-se uma imagem panorâmica (Figura 40), tirada no local com a máquina fotográfica 360°.



Figura 40-Fotografia 360° da Ponte do Saltadouro

## **Capítulo 4. APLICAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS EM INSPEÇÃO**

Neste capítulo, efetuou-se a aplicação de metodologias que não são normalmente aplicadas em inspeção de obras de arte em Portugal, nomeadamente laser scanning, com recurso a estação laser e laser de mão, veículo aéreo não tripulado (VANT), fotogrametria, fotografia 360°, e ainda criação de visitas virtuais.

As aplicações que vão ser apresentadas ocorreram perante as oportunidades quer a nível dos equipamentos disponíveis na Universidade do Minho, quer a nível das demonstrações que foram possíveis marcar com as empresas que fornecem os equipamentos.

A constituição deste capítulo assentará essencialmente sobre as aplicações dentro de cada técnica baseada no levantamento geométrico de estruturas, fundamentalmente pontes, tratamento e apresentação dos resultados, e, ainda, um conjunto de ilações relativas ao observado em cada um destes casos.

### **4.1 Laser Scanning**

4.1.1 Análise de resultados de inspeção da Ponte do Saltadouro com recurso a estação laser  
Num trabalho anterior da Universidade do Minho, em colaboração com a Leica Geosystems Portugal, procedeu-se a um levantamento da Ponte do Saltadouro em Ruivães, como referido no Capítulo 3.

No contexto em que se inseriu o trabalho, o objetivo fundamental era conseguir capturar de forma precisa a face inferior do tabuleiro, sendo esse o alvo de inspeção.

Após o equipamento ter sido colocado em sete diferentes locais de medição de modo a cobrir toda a estrutura, resultou uma nuvem de pontos com mais de 170 milhões de pontos a uma resolução de 6x6mm que, após pós-processamento com o software Cyclone da Leica Geosystems apresentaram as duas vistas da nuvem de pontos da Figura 28. A densidade da nuvem de pontos (número total de pontos da nuvem) depende da resolução escolhida (espaçamento entre pontos) e da distância a que o objeto se encontra do posicionamento da estação laser scanning. Sendo que as distâncias máximas foram na ordem dos 25 metros, optou-se por uma resolução 6x6mm sendo suficiente para permitir uma análise mais técnica da ponte.

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

É importante referir que para obter esta nuvem de pontos ocorreu um tratamento relativamente à eliminação de pontos em zonas que não se pretendiam, sendo que durante um varrimento o equipamento capta tudo o que se encontrar ao alcance da projeção do raio.

Posteriormente, o Eng<sup>o</sup> Luís Santos da Leica Geosystems Portugal, responsável pela realização do varrimento *'laser scanning'* da Ponte do Saltadouro, forneceu os ficheiros referentes à nuvem de pontos, dos quais contemplava um ficheiro de formato RCP, (Recap Project), apto a ser utilizado em contexto de software REVIT, para uma eventual sobreposição com modelo BIM sem necessidade de gestão de potenciais problemas de interoperabilidade (Figura 41).



Figura 41-Perspetivas da nuvem de pontos da Ponte do Saltadouro em software RECAP

De seguida, procedeu-se a uma análise dos resultados obtidos através do *'laser scanning'* e, assim, verificou-se a fiabilidade e o rigor que este equipamento fornece no âmbito de um levantamento a uma ponte. No varrimento com laser scanner terrestre, é normal o aparecimento de ruídos, ou seja, a nuvem de pontos apresenta certa dispersão. Isso pode ser facilmente percebido quando se faz o varrimento de um plano. Os pontos não possuem exatamente a mesma posição na vertical, ou na distância equipamento-objeto. O resultado para cada ponto é um valor de intensidade entre o azul (alta refletividade) e o vermelho (baixa refletividade) que representa a qualidade/intensidade do retorno do laser. Este retorno está afetado de diversos fatores, como por exemplo: distância ao objeto, ângulo de incidência do laser com o objeto, material do objeto, grau de rugosidade do objeto, presença de água no objeto, intensidade de absorvência solar, etc. O valor de intensidade que o software Cyclone apresenta para cada ponto através de uma cor algures neste espectro (entre o azul e vermelho), é o resultado de todos estes fatores que irão determinar o atraso na receção do retorno do sinal. Na nuvem de pontos realizada pelo equipamento da Leica, verificou-se que tal ocorreu em algumas zonas. Apresenta-se na Figura 42 um corte vertical realizado no tabuleiro onde é perfeitamente perceptível esta problemática. No entanto, a zona inferior do tabuleiro apresenta resultados

notáveis ( $\leq 2\text{mm}$ ), sendo que era uma das zonas onde necessitávamos de um grau de detalhe elevado perante o estudo que se estava a realizar.

De acordo com Boehler, Heinz & Marbs (2001), um método rápido para verificar a dispersão dos pontos é calcular o desvio padrão das diferenças de distâncias dos pontos em relação a um plano formado através da nuvem de pontos, conseguindo, assim, a dispersão dos pontos. Desta forma, é, então, possível efetuar um estudo preliminar sobre a dispersão da nuvem de pontos num plano perpendicular à direção de observação do equipamento laser, comparando medidas de variância e desvio padrão em diferentes distâncias de obtenção de dados.

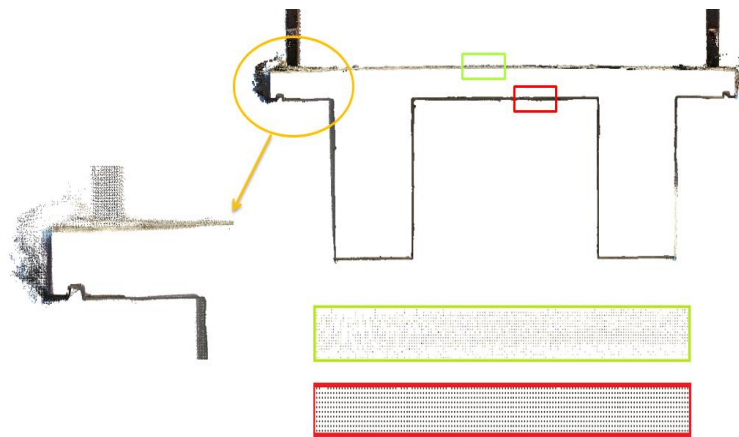


Figura 42-Dispersão da nuvem de pontos em corte vertical do tabuleiro da Ponte do Saltadouro

Além disto, as vigas longitudinais que compõem o tabuleiro também apresentaram alguns graus de empenamento como se apresenta na Figura 43; no entanto, trata-se de valores pouco significativos, resultante possivelmente dos procedimentos de execução no momento da construção, que não influenciaram na análise que foi tirada da ponte.

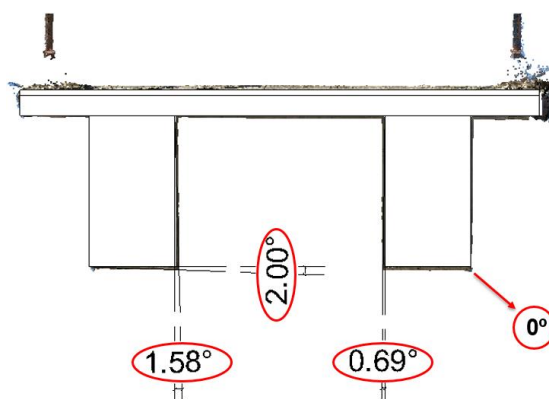


Figura 43-Empenamentos nas vigas longitudinais do tabuleiro

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto

Complementarmente, foi efetuado um conjunto de medições físicas com fita métrica e distanciómetro comparando-as às suas dimensões homólogas com laser scanning. Essas comparações foram feitas quer ao nível do vão quer ao nível dos encontros, vigas e pilares. Constatou-se que as diferenças são aproximadamente iguais como é apresentando nas Figuras 44 e 45.

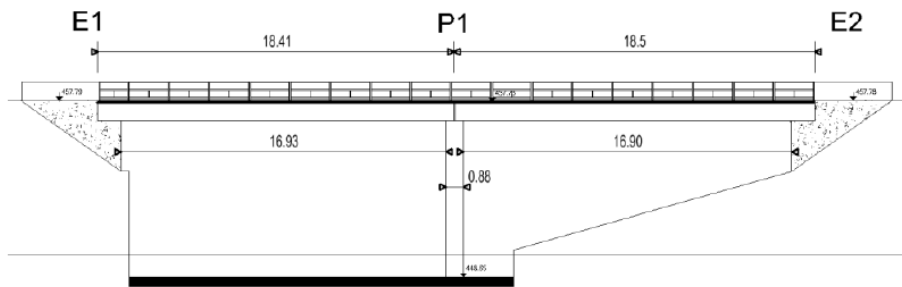


Figura 44-Medidas principais da ponte na sua direção longitudinal efetuadas com fita métrica e distanciómetro [m]

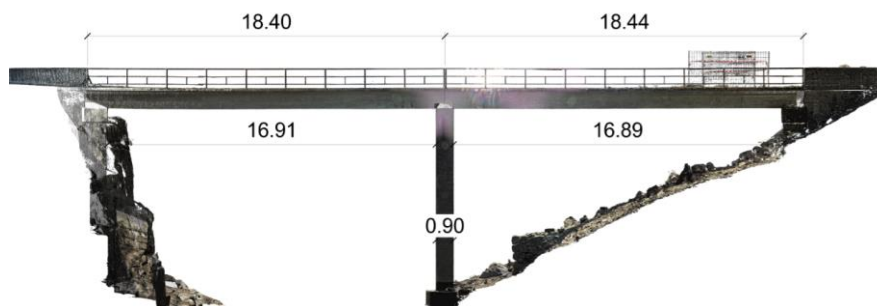


Figura 45-Medidas principais da ponte na sua direção longitudinal efetuadas diretamente na nuvem de pontes [m]

A nuvem de pontos permitiu, ainda, confirmar que a deformada das vigas relativamente a uma linha de referencia reta entre pontos de apoio é cerca de 2,6cm na direção vertical, conforme ilustrado na medição da Figura 46. Tendo em conta o que já se discutiu anteriormente, para esta precisa seção onde se encontra a deformada de cerca de 2,6cm, o ruído é de  $\pm 2\text{mm}$  e grau de fiabilidade desta medição é dessa ordem de grandeza. Ainda assim, recorreu-se ao levantamento num dos trechos do tabuleiro de vários pontos, ao longo da deformada analisada na nuvem, de modo a simular graficamente a deformada e verificar analiticamente o valor máximo da mesma, identificando a zona em que esta se situava ao longo do tabuleiro (Figura 47).

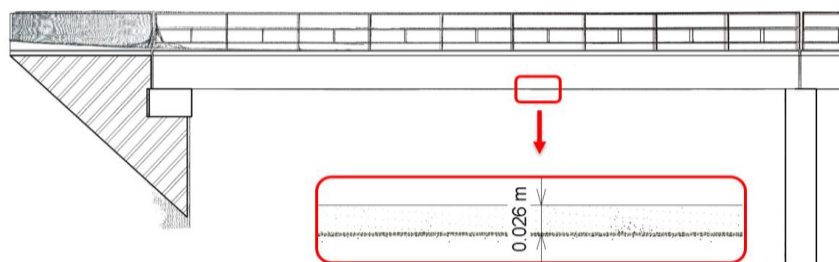


Figura 46-Identificação da deformada num dos trechos do tabuleiro



Figura 47-Deformada analítica com recurso a Excel (0.0259m) [m]

#### 4.1.2 Comparação de laser scanner de mão com estação laser

Em contexto de demonstração do equipamento Zeb-Revo efetuado pelo Eng<sup>o</sup> Luis Pereira da GISCAD, representante da GeoSlam em Portugal, foi realizado um levantamento à Universidade do Minho da mesma região que já havia sido levantada em ocasião anterior pela Leica Geosystems e disponibilizada a nuvem de pontos.

O trabalho efetuado permitiu realizar uma comparação entre os dois equipamentos, embora estivesse sempre presente que se tratava de equipamentos com matriz completamente distinta em termos do contexto da sua utilização. No entanto, mesmo sabendo que o equipamento da GeoSlam não seria propriamente um equipamento que à partida seria utilizado em pontes, mas havendo essa possibilidade, tornava a oportunidade única e muito interessante, a título experimental. Assim sendo, foram realizados os ensaios que se relatam de seguida.

A escolha do local que serviu para o trabalho foi uma passagem entre dois edifícios localizados no polo de Azurém da Universidade do Minho, que tem características que se aproximam, de modo geral, a uma típica passagem inferior no enquadramento das estruturas rodoviárias, e que se adequaria ao tema do desenvolvimento desta dissertação.

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto

O primeiro levantamento do local foi realizado pela Leica Geosystems Portugal. O equipamento foi posicionado em cinco diferentes locais de medição para que fosse possível percorrer toda a estrutura e encontram-se devidamente identificados na Figura 48.



Figura 48-Estacionamentos do 'laser scanner' dos quais se procedeu ao levantamento na Universidade do Minho

Decorrente do pós processamento com o software RECAP, apresentam-se os resultados da nuvem de pontos na Figura 49 com mais de cem milhões de pontos e com um tamanho de 1,07 gigabytes.



Figura 49-Nuvem de pontos em software RECAP captada com ScanStation P40 [m]

Por sua vez, o Engº Luis Pereira deslocou-se até a Universidade do Minho para fazer uma demonstração do seu equipamento Zeb-Revo, realizando assim um varrimento 'laser scanning' no mesmo local. Da mesma forma, após processamento da nuvem de pontos, apresenta-se, na Figura 50, a seguinte nuvem de pontos com menos de cem milhões de pontos e um tamanho de 770 megabytes.



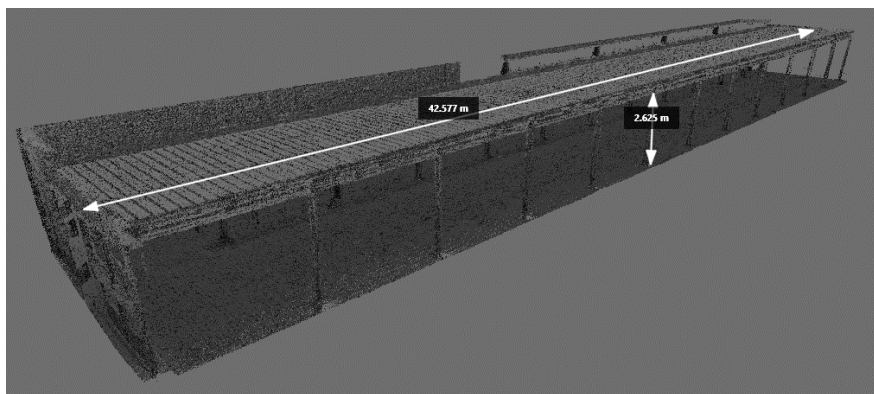


Figura 50-Nuvem de pontos em software RECAP captada com Zeb-Revo [m]

Para efeito de comparação, efetuou-se a medição do comprimento longitudinal da estrutura e da altura de um pilar, conforme se identifica nas Figuras 49 e 50. Na nuvem de pontos do equipamento da GeoSlam, os resultados foram de 42,57m para o comprimento longitudinal da estrutura e 2,62m para a altura do pilar. Na nuvem de pontos do equipamento da Leica, os resultados obtidos foram de 42,57m e 2,62m. As diferenças foram inferiores a 3mm para estes resultados.

Seguidamente, as duas nuvens de pontos foram exportadas para o software REVIT, para desenvolvimento de análise mais detalhada perante as ferramentas que este oferece. O aspeto gráfico das nuvens de pontos quando tratadas e exportadas para o REVIT pode ser analisado na Figura 51.

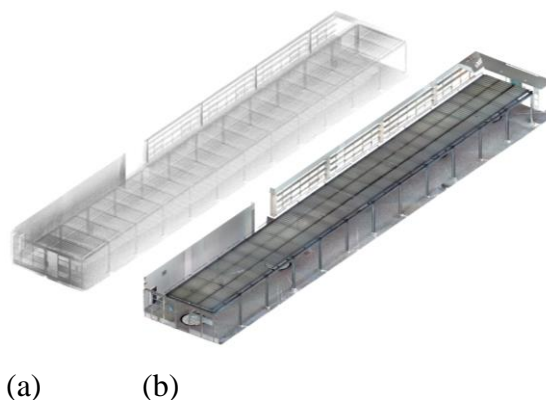


Figura 51-Nuvem de pontos em software REVIT (a) Zeb-Revo; (b) ScanStation P40

Para verificar a dispersão de cada nuvem (ruído em torno de ponto médio), comparou-se diretamente a secção transversal (vista em planta) de um pilar comum das nuvens a 1m de altura do chão (Figura 52). O detalhe geométrico da secção transversal da nuvem da estação laser



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

scanner apresenta uma precisão mais clara e perceptível do que na seção obtida da nuvem do laser scanner de mão, uma vez que a dispersão dos pontos é menor. Adicionalmente, também se verificou a distância em planta entre pilares, para averiguar se essas coincidiam (Figura 53). Constatou-se que até ao milímetro neste caso eram iguais. Para realizar as medidas usou-se como critério a linha média aferida visualmente na nuvem de pontos das faces de cada elemento. Esse critério foi obtido após ter realizado a análise em planta da dispersão dos pontos de uma parede comum, num troço de 1m<sup>2</sup> nas nuvens de pontos (Figura 54). Verificou-se que o laser scanner de mão gera ruído de  $\pm 3\text{mm}$  para a face interior da parede, enquanto que na estação laser scanner, esse ruído é na ordem dos  $\pm 2\text{mm}$  em torno das faces da parede.

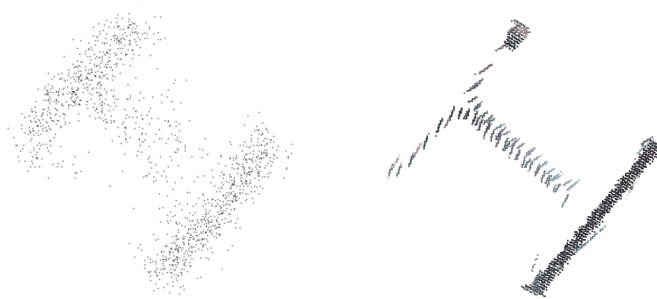


Figura 52-Seção transversal vista em planta de um pilar comum em ambas as nuvens de pontos a 1m de altura do chão (a) Laser scanner de mão; (b) Estação laser scanner

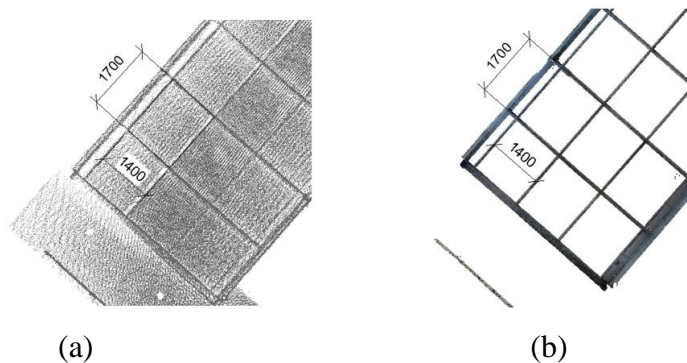


Figura 53-Distância em planta entre dois pilares para ambas as nuvens a) Laser scanner de mão; (b) Estação laser scanner [mm]

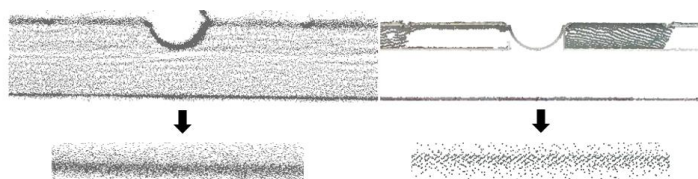


Figura 54-Vista em planta da dispersão dos pontos de uma parede comum a) Laser scanner de mão; (b) Estação laser scanner

### 4.1.3 Conclusões

As duas técnicas que foram referidas aqui são, de facto, tecnologias para funções diferentes das quais se conclui claramente, no levantamento simultâneo pelas duas e de uma forma independente, que o laser scanner de mão nos permite obter informação sobre aspetos gerais de uma estrutura muito bons, de forma rápida e expedita. Para certas situações, este método será suficiente e os cuidados a ter durante o levantamento são muito reduzidos, tanto como o tempo que é necessário despende.

A estação laser forneceu realmente informação muito precisa, permitindo ser utilizada para detalhes, como se verificou, por exemplo, na Figura 52, ao contrário do laser scanner de mão, que deixa efetivamente dúvidas sobre as dimensões do perfil do pilar, mas também tem alguns pontos negativos. Realizar um levantamento com uma estação laser obriga à uma escolha criteriosa das localizações do posicionamento das estações para não honrar excessivamente o pós processamento e criar dificuldades. Tudo isto, de uma forma integrada, obriga um grau de formação e maturidade nestas temáticas superior aquele que é espectável num levantamento tão simples quanto é o laser de mão. No entanto, poderá ser mais caro em termos de levantamento, mas tem a vantagem de entregar um produto final mais rigoroso e final.

Em contexto de inspeção de elementos estruturais de grande envergadura, na maioria das vezes pretende-se realmente um equipamento que permita obter informação rigorosa para tomar decisões. As características técnicas do laser de mão demonstram a sua limitação em obtenção de informação a mais de quinze metros. Isso torna-o extremamente limitado quando aplicado em contexto de inspeção em obras de arte, uma vez que será frequente esse tipo de situações acontecerem. Contrariamente, em estação laser, é frequente ter distâncias da ordem de sessenta metros, chegando até casos de mil metros.

No entanto, para espaços interiores em edifícios e levantamentos expeditos de modelos BIM, sem dúvida que a utilização de laser de mão traduz levantamentos mais económicos na medida em que o tempo de execução é mais baixo e redução de precisão que pode ser aceitável em muitas situações. O processamento dos dados também é mais expedito uma vez que o levantamento é feito de forma mais continua.

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto

## 4.2 VANT e Fotogrametria

Neste estudo, pretendemos explorar a técnica do levantamento geométrico com recurso a Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). O objetivo geral deste trabalho foi entender, aplicar e potenciar o uso da fotogrametria nas mais variadas tarefas de inspeção através de VANT. Nesta dissertação são analisados dois levantamentos VANT: a um pontão em Barcelos e a uma ponte medieval em Vila do Conde. Estes trabalhos foram efetuados por Mlimacarvalho Engenharia do Eng<sup>o</sup> Marco Lima, que realiza prestação de serviços especializados nas áreas da fotografia aérea, estruturação de dados, planeamento e produção de soluções tecnológicas de informação geográfica. Todo o material recolhido durante os levantamentos por parte do Eng<sup>o</sup> Marco Lima foi disponibilizado para estudos complementares e apresentação de resultados.

No decorrer desta seção, são abordados os métodos e os meios utilizados nas aplicações, assim como os procedimentos envolvidos, as suas características e resultados. Ainda assim, são referidas as limitações que surgiram no processamento da técnica fotogramétrica, mas também durante o levantamento geométrico.

### 4.2.1 Ponte de São Miguel de Arcos

O primeiro trabalho realizado foi a ponte medieval com o apoio de um drone Phantom 3 Standard da DJI, provido de uma câmara fotográfica com capacidade de vídeo 4K e fotografia 12MP (Figura 55).



Figura 55-Drone DJI Phantom 3S

Este VANT permite tanto realizar voos automáticos como manuais com uma duração máxima de aproximadamente 25 minutos e velocidades até 16m/s, desde que não haja ocorrência de vento.

A primeira tarefa que foi efetuada por parte do Eng<sup>o</sup> Marco Lima para realizar o levantamento geométrico da ponte, foi solicitar à Autoridade Nacional da Aviação Civil a autorização para a

realização da operação no espaço aéreo civil português, sendo esse um procedimento obrigatório (ANAC, 2017). Após confirmação, reuniam-se as condições necessárias para efetuar o trabalho.

No levantamento geométrico recorreremos a um conjunto de procedimentos que podem dividir em duas fases. A primeira fase reside no levantamento dos dados e a segunda na geração de um modelo de nuvem de pontos densa através do conjunto de fotografias tiradas em torno do objeto alvo.

Assim sendo, passamos a ilustrar os diversos procedimentos que ocorreram ao longo do levantamento geométrico da ponte.

### 1. Levantamento de dados

Nesta fase, procedeu-se ao levantamento dos dados, i.e., das fotografias e das medições consideradas relevantes para o levantamento fotogramétrico.

A primeira tarefa nesta fase foi proceder ao reconhecimento do local para identificar quais seriam as características que teriam de ser tidas em conta para a boa realização do voo, sendo que elementos como árvores, postes elétricos, etc., podem dificultar as manobras do levantamento. Posto isto, procedeu-se a todo um planeamento de voo automático autónomo com recurso a aplicação *Drone Deploy* (DroneDeploy, 2017) de modo a englobar toda a envolvente da estrutura e assim obter o máximo de sobreposição das fotografias possível, como se pode verificar na Figura 56.

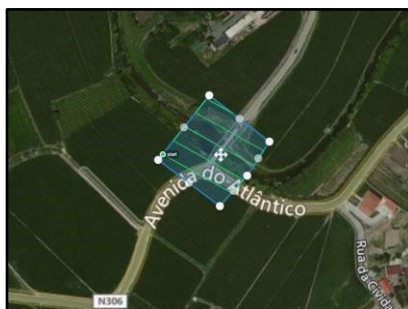


Figura 56-Planeamento do voo para efetuar o levantamento geométrico da ponte medieval

Após a realização do levantamento das fotografias, do qual foram adquiridas 162 fotografias (Figura 57), foram feitas algumas medições com recurso a fita métrica para assegurar a escala do modelo gerado.

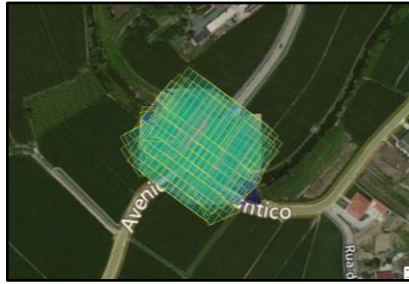


Figura 57-Posicionamento das fotografias obtidas no voo

## 2. Geração nuvem de pontos

Nesta fase, foi utilizado um software de fotogrametria, *Agisoft PhotoScan Pro* (Agisoft, 2017), de modo a gerar a nuvem de pontos. O procedimento dos trabalhos teve a seguinte ordenação:

- Seleção das fotografias captadas pelo drone e importação para o software;
- Alinhamento das fotografias. Neste ponto, através da fusão de pontos em comum nas fotografias, o software gera uma nuvem de pontos dispersos, os quais representam o alinhamento entre as fotografias que não irão ser novamente utilizados de forma direta no procedimento da construção do modelo 3D;
- Criação de uma nuvem de pontos densa. O software gera uma nuvem de pontos mais densa e detalhada com base nas posições estimadas e extraídas das fotografias, uma vez que o equipamento é provido de sinal GPS (Figura 58);



Figura 58-Nuvem de pontos densa

- Geração de uma malha tridimensional. O software reconstrói a superfície de uma malha poligonal 3D que representa o objeto com base na nuvem de pontos densa e permite gerar assim de forma rápida as geometrias;
- Definição da textura do objeto. De forma automática, o software possibilita definir texturas no modelo (Figura 59);



Figura 59-Modelo 3D com texturas

- Exportação do modelo. O software permite exportar a malha e editá-la com outro software, caso seja o pretendido.

Para além da geração de um modelo tridimensional, também se produziu uma ortofoto com um conjunto de fotografias aéreas que foram corrigidas digitalmente para representar uma projeção ortogonal sem efeitos de perspetiva (Figura 60). A ortofoto permite realizar medições exatas, ao contrário de uma fotografia aérea simples, que apresenta sempre deformações suscitadas pela perspetiva da câmara, a sua altitude e a velocidade com que se move. Salienta-se que a resolução que apresenta a ortofoto é de 1.5cm.



Figura 60-Ortofoto

Posteriormente ao levantamento efetuado pelo VANT, o autor desta dissertação deslocou-se ao local e, com recurso a fita métrica, recolheu algumas medidas da ponte, como se pode verificar no conjunto de fotografias apresentadas na Figura 61.



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto



Figura 61-Levantamento com fita métrica de medidas da ponte medieval em Arcos

O objetivo foi realizar uma comparação entre os valores obtidos com fita métrica e os valores medidos diretamente na nuvem de pontos (Figura 62).



Figura 62-Medidas realizadas na nuvem de pontos da ponte medieval em Arcos

As diferenças que se verificaram entre as medidas efetuadas com recurso a fita métrica e as que se efetuaram diretamente na nuvem de pontos foi muito satisfatória, sendo que os resultados são muito semelhantes, a diferença relativa é reduzida e a diferença absoluta anda na ordem dos 0,02m. Apresenta-se na Tabela 2 um conjunto de resultados referentes às medições identificadas na Figura 62.

Tabela 2- Comparação de resultados entre fita métrica (m) e nuvem de pontos (m) na ponte medieval em Arcos

Comprimento	Fita métrica	Nuvem de pontos	Diferença relativa (%)	Diferença absoluta
(1)	24,60	24,63	0,12	0,03
(2)	2,74	2,76	0,73	0,02
(3)	2,91	2,93	0,69	0,02
(4)	2,74	2,75	0,36	0,01
(5)	4,70	4,74	0,85	0,04

#### 4.2.2 Pontão de Barcelos

O trabalho que se irá apresentar de seguida, realizado num pontão em Barcelos, apresenta resultados menos gratificantes do que os da ponte de São Miguel de Arcos, uma vez que as condições nas quais se desenrolou não foram as mais apropriadas para este tipo de equipamento. Quando chegámos ao local, deparámos com a existência de postes e rede elétrica de média tensão junto ao pontão, como se pode verificar na Figura 63, o que iria causar influências eletromagnéticas no sinal GPS durante o voo do VANT.

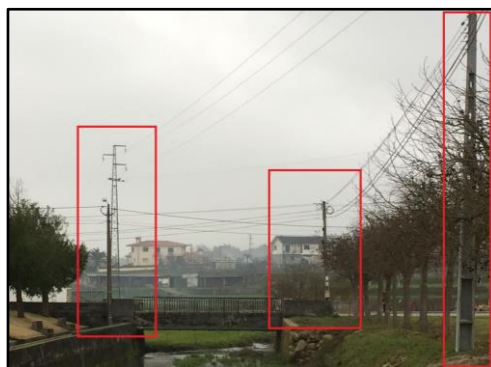


Figura 63-Identificação dos postes e rede elétrica de média tensão

Para além desta condicionante, um dos objetivos era conseguir produzir uma nuvem de pontos em toda a envolvente do pontão, que juntasse todas as faces incluindo a face inferior do tabuleiro. No entanto, o VANT em causa não permite captar fotografias de baixo para cima. Para colmatar essa falha, a título experimental, foi efetuado um levantamento fotográfico da face inferior do tabuleiro com recurso a uma câmara fotográfica de um telemóvel para posteriormente juntar ao levantamento fotográfico do VANT. Posto isto, apresentam-se os procedimentos efetuados e resultados que se obtiveram no decorrer deste levantamento geométrico. Não se voltará a referir a metodologia que se deve ter ao longo de todo o processo de aquisição de dados uma vez que já foi exemplificada na seção 4.2.1. O equipamento utilizado para o processamento das fotografias que se obtiveram também se manteve.

Inicialmente, o levantamento realizado pelo VANT foi programado para realizar um voo automático autónomo com recurso a aplicação *Drone Deploy*, mas os resultados obtidos não foram satisfatórios. O processamento automático adequado das imagens exige que elas tenham não só qualidade gráfica, como, também, informação sobre o posicionamento GPS e direcionamento da máquina fotográfica. Devido a existência das perturbações eletromagnéticas, não foi possível, em várias localizações na vizinhança destes postes obter



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

imagens com a qualidade suficiente de informação direcional e de localização que permitisse que estas fossem bem indexadas com as outras. Assim, apenas foi possível processar as imagens obtidas com altitudes acima da cota superior dos postes. As imagens obtidas abaixo da cota dos postes, em conjunto com as restantes imagens verticais, não foram possíveis processar, pelo que no modelo não foram contempladas as fotos oblíquas junto às faces do pontão.

Apresentam-se, de seguida, na Tabela 3, os resultados obtidos neste levantamento.

Tabela 3-Resultados obtidos pelo voo automático autónomo

<b>N.º Fotos:</b>	35 (35 alinhadas)
<b>Pontos Ligação:</b>	-
<b>Nuvem de pontos:</b>	10 Milhões pontos – Densidade elevada
<b>Malha 3D:</b>	2 Milhões de faces
<b>Ortofoto:</b>	1,15 cm/pixel
<b>Fotografias:</b>	

Conclui-se que os resultados obtidos no primeiro levantamento foram insuficientes devido às condições nas quais se desenrolaram, só permitindo gerar um modelo global de enquadramento. Procedeu-se, posteriormente, a um segundo voo, sendo que, desta vez, foi realizado de forma manual. É importante referir que ao realizar um levantamento nestas condições, voo manual e na presença de média tensão, aumentam significativamente as dificuldades de controlo do equipamento. No entanto, foi possível obter fotografias verticais com distâncias inferiores a cinco metros e ainda com perpendicularidades nas superfícies das faces do pontão, mas as influências eletromagnéticas sobre o sinal GPS do drone causaram incapacidades durante o processamento das fotografias para a criação de um único modelo. Para colmatar esta situação

recorreu-se ao software *CloudCompare* (CloudCompare, 2017) foram criadas duas áreas distintas que foram compatibilizadas com recurso a uma ferramenta que define pontos de controlo nas fotografias, e assim se gerou um modelo único das faces exteriores e da envolvente do pontão. Os resultados deste segundo levantamento estão apresentados de seguida na Tabela 4.

Tabela 4-Resultados obtidos pelo voo manual

<b>N.º Fotos:</b>	72 (72 alinhadas)
<b>Pontos Ligação:</b>	2
<b>Nuvem de pontos:</b>	1.1 Milhões pontos – Densidade média
<b>Malha 3D:</b>	232 mil faces
<b>Ortofoto:</b>	8.08 mm/pixel
<b>Fotografias:</b>	
<b>Modelo 3D da nuvem de pontos do pontão (Vista Norte e Sul)</b>	

Uma vez obtidas as faces laterais e a envolvente do pontão, seria necessário, agora, obter a face inferior do tabuleiro para produzir uma nuvem de pontos da geometria completa da estrutura.

Tendo em conta as dificuldades inerentes ao VANT para tirar fotografias sob o tabuleiro, recorreu-se a um iPhone 6Plus, equipado com câmara fotográfica de 8MP. A recolha das fotografias foi realizada na direção longitudinal ao tabuleiro, na qual se tentou manter uma sobreposição de 60% entre as fotografias e ainda uma distância focal regular. Após o levantamento fotográfico, o processamento das fotografias no software *Agisoft PhotoScan Pro*

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto

obtidas do tabuleiro teve que ser realizado apenas com recurso a alinhamento manual, devido à aquisição das imagens ter sido realizada com recurso a telemóvel e sem sinal GPS. Na Figura 64 pode se verificar a organização das fotografias das fiadas que se efetuou no levantamento fotográfico da face inferior do tabuleiro.

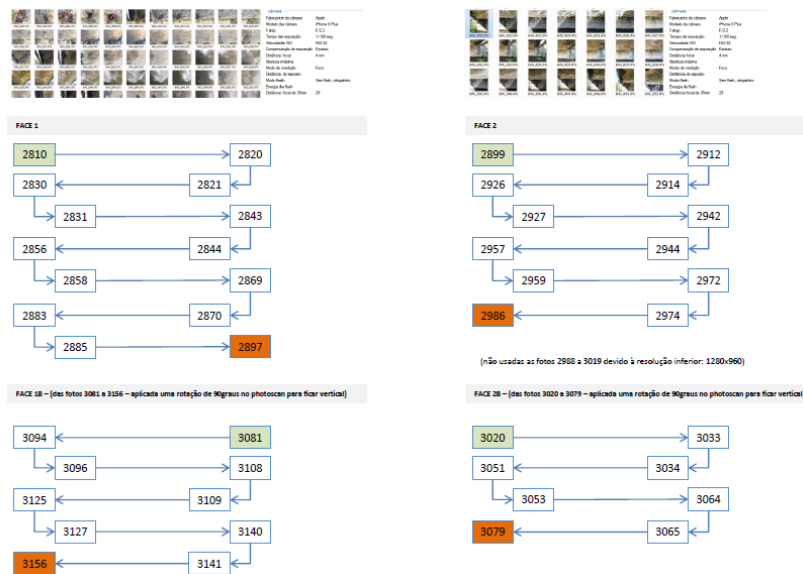


Figura 64-Organização das fotografias das fiadas da face inferior do tabuleiro

Contudo, não foi possível construir um modelo único da face inferior do tabuleiro sendo que três fotografias das duzentas e trinta e três realizadas no local não tinham sobreposição suficiente (<60%) para se juntar à nuvem de pontos. Ainda se tentou realizar pontos de controlo manuais nessas fotografias, através do software, de modo a ultrapassar este obstáculo, mas sem sucesso. O recurso a telemóvel não é o recomendável para este trabalho, uma vez que deverá utilizar uma máquina fotográfica com distância focal fixa e ainda GPS. Apresenta-se, de seguida, na Tabela 5, os resultados obtidos do levantamento na face inferior do tabuleiro.

Tabela 5-Resultados obtidos da face inferior do tabuleiro

<b>N.º Fotos:</b>	233 (231 alinhadas)
<b>Pontos Ligação:</b>	15
<b>Nuvem de pontos</b>	14 Milhões pontos – Densidade elevada
<b>Malha 3D:</b>	2.7 Milhões de faces
<b>Ortofoto:</b>	0.63mm / pixel



Ao longo deste trabalho, ainda foi realizado um levantamento fotográfico exaustivo das faces laterais do pontão. Esse levantamento permitiu mapear de forma detalhada toda a geometria e informação gráfica numa foto global para cada face, possibilitando, assim, uma eventual utilização em vários contextos, como, por exemplo, em procedimentos futuros de registo de anomalias identificadas em eventuais inspeções a estrutura.

De forma estratégica, efetuou-se a fotogrametria das superfícies laterais do pontão com recurso a drone (fotogrametria aérea da face lateral norte) e telemóvel (fotogrametria terrestre da face lateral sul), permitindo, assim, uma comparação de resultados. O mapeamento passou pela elaboração de fotos adjacentes sequenciadas, com sobreposição próxima dos 60%-80% entre fotografias. A criação e sobreposição das fotografias foi realizada com recurso a um software específico (Remake, 2017), produzindo um único ficheiro de imagem para as duas situações (face exterior sul, face exterior norte). Tanto a fotogrametria terrestre efetuada com telemóvel como a fotogrametria aérea realizada com drone apresentaram resultados satisfatórios, sendo que permitiram uma análise visual das superfícies em eventuais situações de inspeção. Apresenta-se, de seguida, na Figura 65, o resultado da fotogrametria das superfícies laterais do pontão correspondentes ao levantamento efetuado.

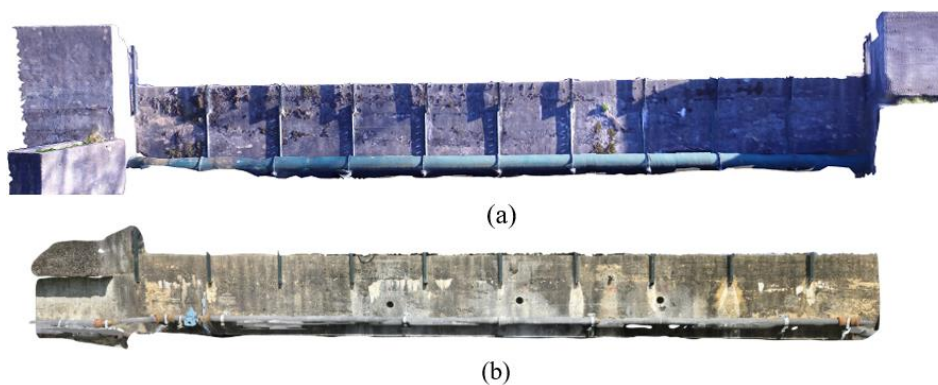


Figura 65-Fotogramateria da face lateral norte - DJI (a); Fotogrametria da face lateral sul - iPhone 6Plus (b)

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto

Com recurso a fita métrica, fizeram-se algumas medidas em campo (Figura 67) para serem comparadas com os resultados obtidos na nuvem de pontos (Figura 68). A diferença relativa é muito satisfatória, uma vez que os resultados são praticamente iguais, como se pode verificar na Tabela 6, e a diferença absoluta anda na ordem dos 0,02m. Apresenta-se, de seguida, algumas fotografias de medidas tiradas no local bem como os resultados obtidos na nuvem de pontos.

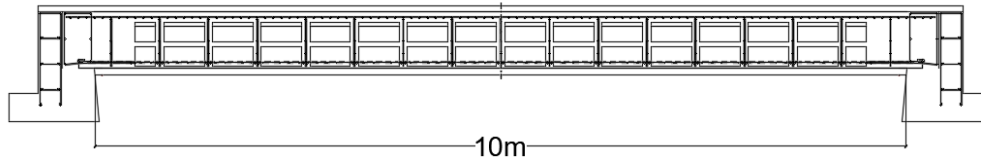


Figura 66-Largura do vão (10m)



Figura 67- Passeio 0.72m (a); betuminoso 1.23m (b)

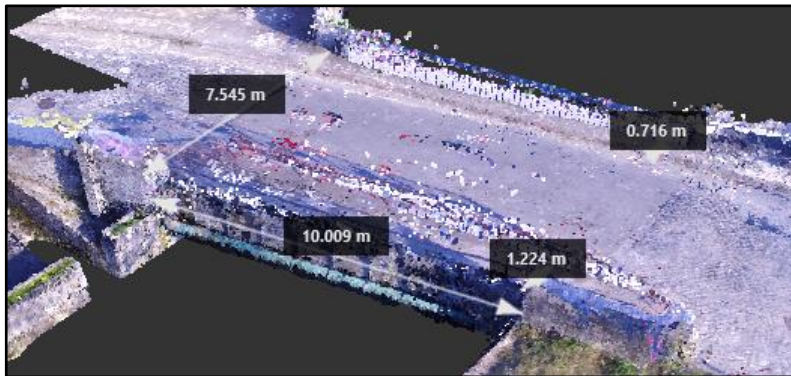


Figura 68-Medidas obtidas na nuvem de pontos (m)

Tabela 6-Comparação de resultados entre fita métrica (m) e nuvem de pontos (m) no pontão de Barcelos

	Fita métrica	Nuvem de pontos	Diferença relativa (%)	Diferença absoluta
<b>Vão</b>	10,00	10,01	0,10	0,01
<b>Passeio</b>	0,72	0,72	0,00	0,00
<b>Betuminoso</b>	1,23	1,22	0,80	0,01
<b>Faixa de rodagem</b>	7,50	7,55	0,67	0,05

### 4.2.3 Conclusões

Os veículos aéreos não tripulados podem, de facto, servir para realizar levantamentos geométricos de obras de arte, apresentando resultados muito satisfatórios, próximos da realidade com um grau de precisão elevado, e, produzem fotografias tridimensionais do estado de conservação das superfícies. No entanto, é preciso ter em cuidado a luminosidade solar entre inspeções sucessivas para não tirar ilações erradas. Os modelos que se geram, possibilitam eventuais trabalhos futuros para o ramo das inspeções e da modelação da geometria. Contudo, existem alguns impedimentos por parte dos equipamentos, como se constatou. Em zonas onde existem influências eletromagnéticas, o sinal GPS do equipamento usado não permite efetuar registos fotográficos com as condições necessárias para gerar modelos tridimensionais. Para além deste inconveniente, ainda necessitam de estar preparados para poder efetuar levantamento fotográficos de baixo para cima. Uma das zonas mais importantes a caracterizar durante uma inspeção de uma obra de arte é a face inferior do tabuleiro, e os veículos aéreos não tripulados não permitirem que esse registo seja efetuado é um ponto negativo.

Estas foram constatações observadas para este equipamento, sendo possível que com um equipamento mais sofisticado, com outro nível de robustez às interferências eletromagnéticas, as dificuldades que foram acima reportadas poderiam não ter acontecido. Também a nível das fotografias, se o equipamento estivesse dotado de câmara fotográfica com qualidade gráfica mais elevada, teríamos obtido mais pontos para gerar um processamento mais eficiente.

### 4.3 Fotografia 360°

O trabalho aqui descrito contempla uma visita virtual produzida através do software Pano2VR (Pano2VR, 2017) de um levantamento fotográfico que se efetuou na ponte do Saltadouro. Para a realização do trabalho fotográfico, usou-se a máquina fotográfica 360° Ricoh Theta da Universidade do Minho. Optou-se por escolher o levantamento desta ponte uma vez que contemplava um registo mais intenso sobre as patologias identificadas, danos e ensaios realizados. Ao efetuar uma inspeção especial, adquiriu-se, de facto informações de carácter mais profundo sobre a obra de arte do que na inspeção principal realizada com a BETAR.

Deste modo, foi possível gerar uma visita virtual na estrutura e criar um mapeamento completo que continha toda a informação obtida da inspeção. Essa visita fica disponível em plataformas



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

informáticas permitindo assim, em qualquer altura, ser consultada e ter uma perspetiva visual das condições da ponte no dia em que se efetuou a inspeção.

São apresentados de seguida, os procedimentos que se realizaram para se obter o registo fotográfico e desenvolver uma visita virtual.

A primeira fase passou pelo levantamento fotográfico das diferentes perspetivas da ponte do Saltadouro no qual existem alguns cuidados a ter. Uma vez que a máquina fotográfica 360° está equipada com duas lentes olho de peixe em oposição (Figura 69), que têm alguma sensibilidade ao estarem diretamente expostas a eventuais raios solares com ângulo de incidência direto, aumentando a claridade da fotografia, podendo ficar até branca. Assim sendo, teve-se o cuidado de realizar o levantamento numa hora do dia em que a luz solar é mais propícia para tirar fotografias. Manter a câmara fotográfica fixa num ponto ao realizar a fotografia também é muito importante para que não fique desfocada. A menos destas indicações, o processo foi relativamente simples, sem necessidade de ter conhecimentos prévios sobre as técnicas de levantamentos de fotografias panorâmicas.



Figura 69-Lentes olho de peixe em oposição Ricoh Theta

Após ter realizado o levantamento fotográfico na ponte, efetuou-se a reconstituição da visita virtual e o mapeamento de toda a informação obtida no decorrer da inspeção.

Genericamente, as tarefas que se realizam no programa passam pela organização das fotografias panorâmicas definindo os locais onde se pretendia que a visita virtual decorresse e a informação contida na mesma. O software tem uma ferramenta denominada de ‘*hotspot*’, trata-se de pontos de ligação para outras panorâmicas e/ou informação complementar. O recurso a essa ferramenta permitiu definir uma série de parâmetros num determinado local da fotografia panorâmica e dentro desses parâmetros integrar a informação relativamente à zona identificada (Figura 70). Assim sendo, um ‘*hotspot*’ permite incluir uma imagem, um vídeo, um URL (Uniform Resource Locator), informação textual ou ainda um ponto de ligação para ter acesso a outra fotografia 360° que integra a visita virtual.

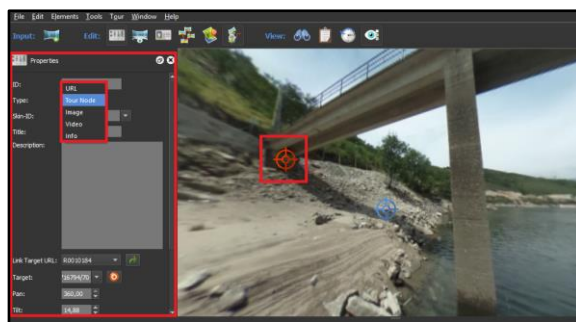


Figura 70-Hotspot e os seus parâmetros

No fim de ter associado toda a informação colhida durante a inspeção na ponte do Saltadouro nas fotografias 360°, exportou-se o panorama em formato HTML5 permitindo assim ficar acessível numa plataforma de navegador internet, evitando completamente a necessidade de softwares pagos. Apresenta-se, na Figura 71 uma perspetiva que se visualiza na visita virtual que se gerou, numa das zonas da face inferior do tabuleiro, em que estão identificadas algumas das informações que se podem consultar.

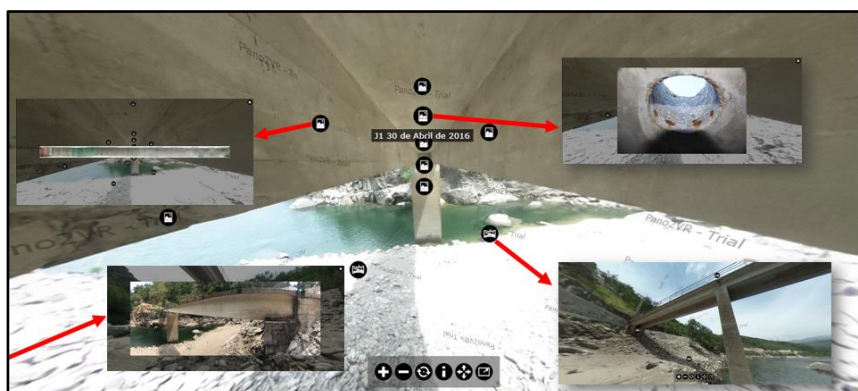


Figura 71-Perspetiva da face inferior do tabuleiro com a respetiva informação associada

#### 4.3.1 Conclusões

A utilização de visitas virtuais no contexto de inspeção em obras de arte identificou-se como uma ferramenta que traz benefícios para o registo da informação, ficando disponível de forma rápida e intuitiva para o utilizador. A vantagem de permitir ao utilizador interagir e navegar num ambiente virtual, tal como se estivesse no local fisicamente, é realmente um ponto positivo e muito interessante neste tipo de contexto, uma vez que permite conhecer o local e identificar as zonas inspeccionadas. No entanto, é uma solução que oferece fotografias de baixa resolução, impossibilitando realizar grandes níveis de *zoom*, e ainda provoca distorção nas fotografias sendo lentes de olho de peixe, e, conseqüentemente, não permite realizar medições. Assim



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

sendo, será uma solução complementar aos processos de inspeção nos quais se faz a identificação das anomalias numa obra de arte e reconhecimento do local. Permite apanhar o contexto, fazer um índice ou, ainda, recordar algo que não nos apercebemos ou não estávamos a olhar durante a inspeção. Relativamente a atualização da informação de inspeções periódicas que existem neste tipo de estrutura, o software permite fazê-lo uma vez que é possível adicionar nova informação em qualquer altura.

## **Capítulo 5. PROPOSTA DE APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS BIM PARA GESTÃO DE INFORMAÇÃO DE INSPEÇÃO DE OBRAS DE ARTE**

Neste capítulo, apresenta-se uma proposta de aplicação de metodologias BIM para gestão de informação de inspeção de obras de arte, na qual se encontra desenvolvido um trabalho de nível mais fundamental, nomeadamente, no que diz respeito à discussão do que poderão ser os níveis de detalhe; regras de modelação para cumprir o bom procedimento da realização do modelo no contexto de inspeções; a forma de apresentar a informação; e, ainda, como proceder à sua colocação no modelo. No entanto, inicia-se com uma explicação do enquadramento estratégico em que são indicadas as inclusões e as exclusões das estruturas de suporte para as informações recolhidas nas inspeções de rotina, principal e especial. Nessas se centrou esta dissertação. Apresenta-se também, o desenvolvimento de uma aplicação para *software* Revit, que permite alocar uma quantidade significativa de informação recolhida ao longo de uma inspeção, um caso de estudo exploratório das vantagens que podem ser obtidas com esta estratégia e resultados, tais como relatórios gerados através do modelo BIM. Por fim, será apresentada uma solução para disponibilização do modelo BIM, juntamente com toda a informação nele associada em visualizador BIM.

### **5.1 Enquadramento estratégico**

Uma vez que ainda não ocorreram desenvolvimentos concretos sobre a metodologia BIM no ramo das inspeções em obras de arte e na gestão da informação recolhida ao longo de uma inspeção, foi necessário disponibilizar regras para que os utilizadores tenham uma base que suporte o funcionamento com a metodologia de gestão de informação de inspeção através do BIM. Nestas metodologias existe fundamentalmente um potenciador, que passa pela criação de um plano de execução BIM, e que irá ditar a forma de executar e percorrer o processo. A ele subjacente, existem dois aspetos muito importantes: as regras de modelação e os graus de detalhe. É necessário disponibilizar regras de modelação perante o tipo de estrutura que se irá abordar, o detalhe geométrico necessário perante o tipo de inspeção e, ainda, propor os níveis de informação que devemos colocar nos modelos existentes, ou novos, uma vez que temos especificidades muito próprias nas obras de arte. Portanto, estes são aspetos fundamentais que requereram um estudo detalhado.

O modelo será a ferramenta de suporte onde a informação vai ser colocada perante o ato de inspeção. A estrutura de suporte foi definida perante o tipo de inspeção que se vai realizar e as

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto

circunstâncias nas quais podemos ter de as realizar, uma vez que poderá ser numa ponte já existente, mas também poderá ocorrer numa ponte nova. Na figura 72, exemplifica-se quais as opções que podem ser tomadas para a criação do modelo de suporte em pontes existentes ou novas, perante o tipo de inspeção que poderá ser realizada ao longo do seu ciclo de vida.

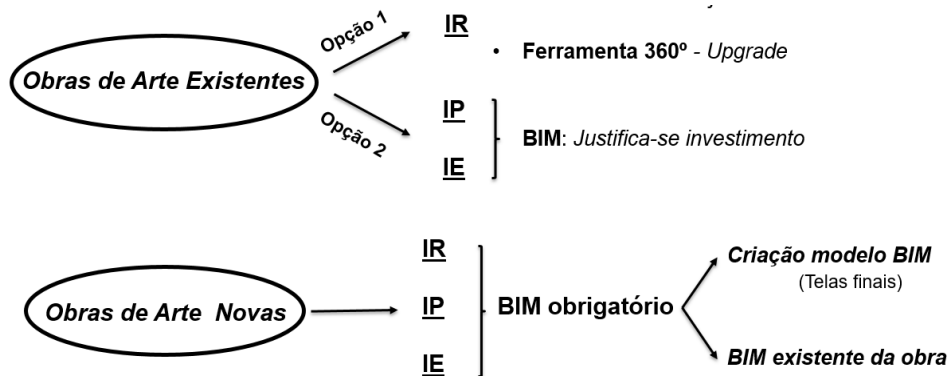


Figura 72-Estrutura de suporte em pontes existentes e pontes novas perante o tipo de inspeção

Portanto, numa ponte existente, nem sempre se justifica a criação de um modelo BIM perante variáveis como a nível económico, incertezas ou falta de desenhos. Ao contrário de pontes novas, em que faz todo o sentido criar um modelo BIM, caso não esteja disponível. A justificação da criação de um modelo BIM será perante a necessidade em cruzar a informação com frequência das inspeções. Outra definição de estratégia, será aceitar ter fotografia 360° como base de suporte, sendo que nem tudo precisa de ter modelo BIM. Esta técnica oferece condições para agregar a recolha da informação que é obtida numa inspeção de rotina. Em inspeção principal e especial, o modelo BIM terá de ser sempre a estrutura de suporte da informação em virtude das características e do grau de informação que se obtém na sua realização.

Também foi necessário ter em conta a questão da escolha da aplicação informática a adotar. De facto, existem aplicações BIM especializadas em gestão da manutenção, como por exemplo ArchiBus®, ou o YouBIM®, entre outros, com capacidade para gestão de informação relativa a inspeções periódicas, mas que não foram desenvolvidas diretamente para atos de inspeção e gestão da manutenção em obras de arte. Assim, uma vez que estas aplicações não tinham as características necessárias e as propostas que foram apresentadas, embora maioritariamente agnósticas de software, eram especialmente direcionadas para introduzir a informação em software Revit, levaram a que se optasse por aprofundar apenas a realização do modelo através do software Autodesk Revit (versão 2017).

## 5.2 Proposta de Regras de modelação

Seguidamente, propõem-se regras de modelação para cumprir o bom procedimento na realização de um modelo no contexto de inspeção, a forma de apresentar a informação, e ainda, como proceder à sua colocação.

Torna-se fundamental definir regras de modelação, para que o modelo possa ser utilizado e manipulado de forma apropriada para a realização de uma inspeção numa obra de arte. Definiu-se, portanto, um conjunto de critérios para a modelação, os quais são independentes da plataforma de software selecionada, ao contrário da introdução da informação que foi desenvolvida para o *software* Revit.

Conforme o que já é habitual em modelação BIM, essa deve ser feita de forma individual e usar as classes dos objetos para conseguir uma maior produtividade e qualidade final. Uma vez que o objetivo é obter um modelo de gestão da manutenção, é necessário ter uma especial atenção à classificação dos elementos e um rigor geométrico tal como já se fala nas tabelas de LOD da BIMForum (BIMForum, 2017).

A criação do modelo BIM tem de ser realizada de forma a facilitar todo o processo ao inspetor, e aproximar-se o máximo da realidade. Portanto, a modelação deve permitir cruzar os instrutores BIM com os meios de inspeção e diagnóstico.

Assim, elaborou-se um documento no qual se apresentam vários conceitos gerais de modelação diretamente direcionados para a criação de modelos BIM para inspeção e gestão da manutenção em obras de arte de betão. Na Figura 73, apresentam-se as regras de modelação que foram definidas para o tabuleiro. Para a consulta dos restantes elementos, consulte-se o Anexo III.

### Tabuleiro

- Modelar com o elemento da biblioteca apropriado. No caso de não existir um elemento da biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Modelados com precisão em termos de geometria e localização, incluindo as ligações, armaduras e objetos incorporados.
- Modelar por níveis.
- Modelar com a classificação e o tipo de família adequada.
- Modelar a localização de forma a que o topo do tabuleiro seja coincidente com o plano de referencia associado.
- Modelar todas as aberturas
- Modelar variações de espessura.
- Modelar todas as inclinações.
- Modelar ressaltos ou rebaixos no tabuleiro.

Figura 73-Regras de modelação para o tabuleiro

Para enriquecer o modelo BIM, foi necessário pensar de que forma iriam colocar-se as informações e resultados obtidos após uma inspeção. As informações que podem interessar acrescentar durante uma inspeção são de três tipos principais: danos observáveis, recolha de amostras e técnicas utilizadas. Inicialmente, apresentaram-se duas soluções para que isso fosse exequível, a criação de famílias de objetos enquanto entidade física representativa da geometria real, ou uma representação mais simbólica do objeto. As mesmas teriam como objetivo agregar um conjunto de informação não gráfica (resultados numéricos, fotografias, relatórios, etc.), com mais ou menos informação, mediante o tipo de inspeção que se terá realizado, e permitir a identificação da localização no modelo. Refere-se como informação não gráfica, no sentido que não tem tradução gráfica.

A entidade física representativa pode, de facto, apresentar uma representação explícita da geometria, mas a complexidade que ela representa e o tempo inerente na modelação iria complicar o processo. Uma vez que não interessa a representação do objeto, mas sim a informação que nele está contida, e como se pretende que a caracterização do dano e a forma como se introduz a informação se aproxime em todas as inspeções (IR, IP, IE), a representação simbólica será uma solução mais viável. Caso haja uma representação uniforme de objetos entre os vários tipos de inspeção, a colocação da informação consoante cada tipo de inspeção no modelo vai ser um processo idêntico, levando a processos análogos de introdução da informação que permitem interconversão dessa informação e representação. Há danos e amostras que podem ser representados de forma explícita com a representação real como carotes, janelas de inspeção e fendas, uma vez que se pode justificar esse grau de detalhe na representação dos mesmo no modelo, mas, podem alternativamente esses e outros objetos ser representados como algo simbólico, como simplesmente um *Patch*. Na Figura 74, apresenta-se um conjunto de exemplos de objetos com representação física (carote, janela de inspeção e fenda) e outros com representação simbólica que se denominam *Patch*.

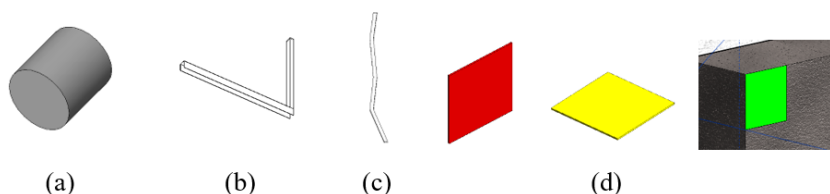


Figura 74- Objetos com representação explícita da geometria: carote (a), janela de inspeção(b) e fenda (c); Objetos com representação simbólica: patch (d)

Na modelação das famílias designadas por *Patch*, os critérios de modelação mantêm-se, sendo que a classificação e o posicionamento exato no modelo BIM são elementos-chave para atingir os objetivos de um modelo de gestão da manutenção. Relativamente ao mapeamento de anomalias, como fendas, definiu-se que irá ser feito para fendas  $\geq 0,1$  mm, uma vez que é um valor que permite fazer gestão preditiva de evolução da fenda e ao mesmo tempo realizar medidas de atuação para manutenção de fendas  $\geq 0,3$  mm, não obrigando assim a uma modelação intensa de todas as fendas existentes numa estrutura.

Uma vez que todo este processo tem como objetivo modelar com o intuito de atualizar e gerar relatórios que satisfaçam as necessidades dos inspetores e que a informação que se retire dos modelos seja utilizada para eventuais modelos preditivos, as regras de colocação da informação dentro do modelo BIM são fundamentais. É necessário garantir que a atualização permanente das inspeções futuras possa ser efetuada de forma eficiente ao associar a informação às famílias/objetos. Perante o tipo de inspeção, a quantidade de informação vai aumentando e o modelo vai acumulando outra quantidade de informação devido ao aparecimento de novos objetos. A informação deverá ser colocada nas propriedades do objeto, as quais podem ser atualizadas e aumentadas perante as necessidades de cada utilizador. Contudo, apresenta-se na Figura 75, um exemplo de informação que pode estar agregada a cada objeto representativo de uma anomalia detetada ao longo de uma inspeção. Esse conteúdo aparece de forma textual, gráfico e ainda é possível alocar um URL (Uniform Resource Locator), que se refere a um endereço de rede no qual se encontra algum recurso informático, como por exemplo um arquivo de computador, ou um dispositivo periférico, permitindo, assim, ter acesso a certa informação. Para além da lista de informação que se apresenta de seguida, pode ser recolhida outra informação durante as inspeções, tais como: nuvem de pontos, fotogrametria e georadar, etc. Toda essa informação pode ser consultada no Anexo IV de forma mais detalhada.

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
 proposta de metodologia e aplicação piloto

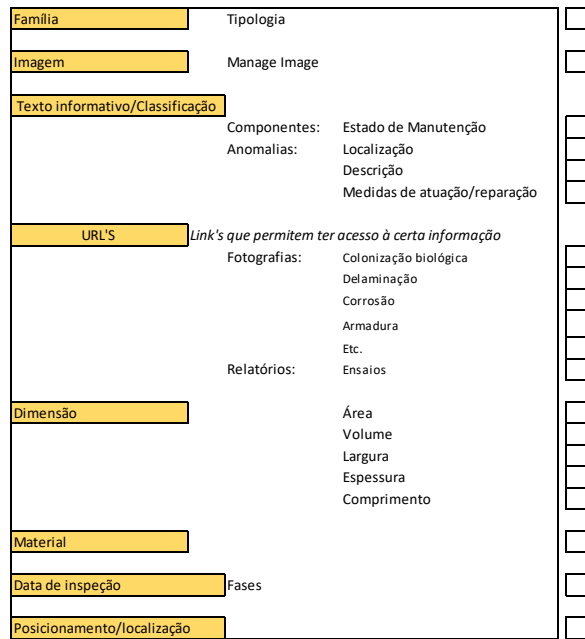


Figura 75-Informações das inspeções associada aos objetos do modelo BIM – Software Revit

Desenvolveu-se ainda um fluxograma (Figura 76) no qual se definiu qual deveria ser o fluxo de trabalho no processo de inspeção em modelo BIM para obras de arte de betão armado, desde a sua criação, à introdução e atualização da informação recolhida numa inspeção para gestão da manutenção, até à fase de geração de relatórios de inspeção.

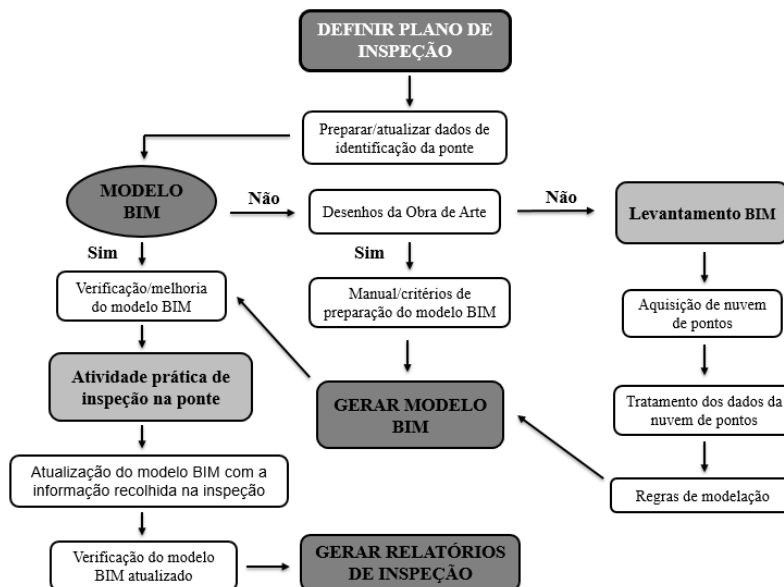


Figura 76-Fluxograma do processo de inspeção em modelo BIM em obras de arte de betão armado

### 5.3 Proposta LOD

- Escala LOD

Foi definida uma terminologia do nível de desenvolvimento para modelos BIM em contexto de inspeção e gestão da manutenção em obras de arte de betão armado. Por conseguinte, apresenta-se uma proposta do nível de detalhe geométrico e de informação que um modelo deve ter para atividades de inspeção em obras de arte. Salienta-se que o nível de detalhe não será atribuído à inspeção, mas sim ao modelo.

A decisão baseou-se em expandir os níveis de detalhe da BIMForum em termos de conteúdo de informação. Procedeu-se à reformulação e adaptação das típicas tabelas LOD (Level of Development Specification), de forma a que essas se adequem aos componentes das obras de arte e correspondentes dados de inspeção, já que não precisamos de ter o detalhe para inspeção e gestão de manutenção, de que necessitaríamos se fosse outro tipo de construção.

A modelação de uma obra de arte existente poderá chegar apenas até determinada escala LOD, visto que se poderá, em certas situações, não ir mais além disso, por questões económicas, incertezas ou faltas de desenho. Contrariamente a uma obra de arte nova, onde o objetivo final será sempre obter um LOD 500, sendo essa criada obrigatoriamente em BIM desde o início. Assim, a discussão do LOD 300 ou 400 será apenas para obras de arte que não tenham BIM a montante, neste caso obras de arte existentes. Assume-se que em obras de arte novas já se terá um LOD 400 adequado para ser um LOD 500 análogo às definições da BIMForum, mas, para as obras de arte existentes, vai se definir um LOD 300/400 com especificidades.

É importante referir que o típico LOD200 não se considerou, uma vez que de acordo com a definição da BIMForum, por exemplo para elementos de viga, contém apenas informação sobre a classe de betão e uma geometria aproximada do elemento. É manifestamente insuficiente para gestão da manutenção de obras de arte.

Neste sentido, criou-se, então, uma terminologia denominada LOD Bridge, sendo esta diretamente direcionada para as atividades de inspeção e gestão de manutenção em obras de arte de betão armado. Desenvolveu-se um documento em que consta uma proposta do nível de desenvolvimento para todos os componentes que compõem uma obra de arte, onde estão definidos critérios de modelação que se recomenda para realização de ações de inspeção. Na



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

Figura 77, apresenta-se um exemplo do nível de detalhe LOD Bridge 300 e 400 para um tabuleiro. Para uma análise completa de todos os componentes, consulte-se o Anexo VI.



Figura 77-LOD Bridge 300 e LOD Bridge 400 para um tabuleiro

Após este ponto de partida, é possível apresentar uma proposta da quantidade de informação adicional ao LOD Bridge 300 e LOD Bridge 400, que vamos colocar para corresponder aos modelos de gestão de manutenção que queremos desenvolver.

Ainda assim, um componente que esteja definido como LOD Bridge 300/400 pode tornar-se um LOD para gestão da manutenção análogo ao típico LOD 500, acrescentando informação da obra a que se pode ter acesso ou não. Assim, adicionando folhas de manutenção ou informação sobre a obra, o LOD Bridge 300 passará a ser designado como LOD Bridge 300M. Na situação do LOD 400, quando se adiciona essa informação passa para LOD 500.

De seguida, conforme a inspeção que irá ser realizada, vai haver uma lista de informação a ser adicionada ao modelo. Não irá existir um modelo de informação a ser adicionado perante o tipo de inspeção realizada, sendo que as informações recolhidas dependem, na maioria das vezes, do que cada utilizador tiver para a realização das inspeções.

Assim, existe um conjunto de instrumentos claramente possíveis em vários tipos de inspeção (máquina fotográfica, fita métrica, detetor de armaduras, etc.), mas existem outros que só em inspeções mais detalhadas é que são normalmente mobilizáveis (laser scanning, georadar, caroteadora, fotogrametria, etc.). Portanto, criou-se uma tabela, apresentada na Figura 78, que contempla um conjunto de informação que pode vir a ser recolhida durante a inspeção e, seguidamente, associada à tipologia dos objetos que se espera que possam vir a aparecer intrínsecos às atividades de inspeção. Desta forma, permite identificar que tipo de informação foi recolhida durante a inspeção e ter um resumo da informação que a inspeção ofereceu.

		IR - Inspeção de Rotina	IP - Inspeção Principal	IE - Inspeção Especial
Danos	Danificação do betão	X	X	
	Colonização biológica	X	X	
	Humidade	X	X	
	Resíduos construtivos	X	X	
	Sedimentos	X	X	
	Vegetação	X	X	
	Fissuração $\geq 3\text{mm}$		X	X
	Erosão	X	X	X
Observações	Corrosão	X	X	X
	Assentamentos fundações		X	X
	Rotação pilares		X	X
	Carbonatação do betão		X	X
Amostras	Empenamento		X	X
	Carote			X
	Janela de inspeção			X
Técnicas	Amadura			X
	Laser Scanning		X	X
	Fotogrametria		X	X
	Georadar			X
	Foto 360°	X	X	X

Figura 78- Informação que pode vir a ser recolhida durante uma inspeção

## 5.4 Desenvolvimento de aplicação em Revit

Perante a necessidade de introduzir uma elevada quantidade de informação nos modelos BIM após a realização de uma inspeção, e sendo um processo com baixo grau de automatismo, desenvolveu-se uma aplicação para o *software* Revit, escolhido para o desenvolvimento do caso de estudo que será apresentado na seção 5.5.

Uma das soluções no *software* Revit para associar informações ao projeto ou às famílias é como *Shared Parameters* ou *Project Parameters*.

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

Os *Shared Parameters* são definições de parâmetros compartilhados que podem ser adicionados em famílias ou em projetos de forma independente. As informações definidas numa família ou projeto usando esta tipologia de parâmetros não são aplicadas automaticamente a outra família ou projeto quando se define o mesmo parâmetro compartilhado. Este tipo de parâmetro também é útil quando se pretende criar uma *Schedule* que exiba várias categorias de famílias ou mesmo criar um *tag*, pois tal só é possível com recurso a parâmetros compartilhados.

Os *Project Parameters* são parâmetros específicos do projeto e não podem ser compartilhados com outros. Estes parâmetros são definidos para certas informações que serão adicionadas a várias categorias de elementos em um projeto.

Uma vez que neste trabalho se pretende introduzir informação alfanumérica nos objetos e fotografias, terá que se trabalhar com estes dois tipos de parâmetros. A informação textual nos objetos será introduzida sob a forma de *Shared Parameters*, e para as fotografias, sob a forma de *Project Parameters*. A introdução destes parâmetros no modelo requer, no entanto, um conjunto de tarefas que tornam o processo muito moroso, repetitivo e, conseqüentemente, pouco produtivo no que toca à introdução dos dados resultantes das inspeções e gestão da manutenção das obras de arte no modelo BIM.

Assim sendo, optou-se por desenvolver dois *Add-ins* distintos, um primeiro para criar os *Shared Parameters*, trabalhando no Revit ao nível das famílias, e o segundo, para a criação dos *Project Parameters*, trabalhando no Revit ao nível do modelo, tendo essas funcionalidades diferentes, como já foi referido anteriormente.

Estes *Add-ins* foram feitos com recurso à plataforma de programação visual (Dynamo), que interage diretamente com a API do Revit (Application Programming Interface) através da linguagem de programação Python.

O *Add-in* desenvolvido para inserir *Shared Parameters* interliga o Revit a bases de dados externas, neste caso a base de dados estará localizada num ficheiro de formato Excel e a informação nele contida será associada às propriedades dos elementos de Revit. O aplicativo desenvolvido para inserir *Project Parameters* permite automatizar e assim tornar mais eficiente

o processo de introdução dos parâmetros de projeto do tipo imagem, relativos ao levantamento fotográfico das patologias observadas para cada elemento analisado.

Para a execução do programa, utilizou-se o motor de execução de *Add-ins*, criado através da plataforma de programação Dynamo, o Dynamo Player. Este permite que o utilizador inicie a execução do programa sem necessitar de visualizar o código correspondente, não correndo o risco, assim, de involuntariamente o alterar.

Apresenta-se, de seguida, a aplicação desenvolvida, e uma perspetiva geral dos dois códigos e das tarefas que cada um deles realiza.

#### 5.4.1 Shared Parameters

Uma das grandes vantagens desta aplicação é o facto de esta interagir com a API do REVIT. Permite fazer uma interação direta para colocar a informação num ambiente que é amigável ao utilizador, neste caso, o Excel, para o software Revit. Para facilitar a introdução dos dados, ao invés de obrigar a edição sistemática de objetos no modelo, desenvolveu-se uma unidade de preenchimento Excel.

Esta aplicação tem capacidade de automaticamente criar os parâmetros definidos na base de dados (ficheiro de Excel) no ficheiro de *Shared Parameters* do REVIT, caso estes não existam. De seguida, atribui estes *Shared Parameters*, e o seu respetivo valor, com base no Excel, a todas as famílias de REVIT (ficheiros em formato. rfa) dentro da pasta escolhida pelo utilizador. A solução por que se optou passou por ter vários tipos de famílias dentro da mesma, definindo que todas as instâncias de objetos tinham uma família correspondente única. Trata-se de uma regra de modelação que se tem de seguir para usar este método, uma vez que o *Shared Parameters* não é acessível de outra forma. Foi uma decisão adotada para vencer o subterfúgio do *Shared Parameters* só se aplicar a famílias, e não a instâncias. Formalmente, os parâmetros dos objetos serão de um tipo de família, os valores correspondentes a cada um deles é que serão diferentes.

Todo este processo dispensa a intervenção do utilizador, pois o *Add-In* desenvolvido tem a capacidade de abrir todas as famílias, efetuar os processos de adição dos parâmetros e atribuição do valor definido na base de dados, guardar, fechar as famílias e remover a cópia de segurança gerada automaticamente pelo REVIT. A aplicação desenvolvida é ainda capaz de perceber se

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto

os parâmetros que o utilizador está a pretender criar já existem, e caso isso aconteça, apenas altera o seu valor pelo definido pelo utilizador na base de dados, permitindo, assim, ao utilizador corrigir eventuais erros de introdução de informação nas famílias.

A Figura 79 que se segue demonstra, de forma sucinta, a estrutura do algoritmo do aplicativo *Shared Parameters*.

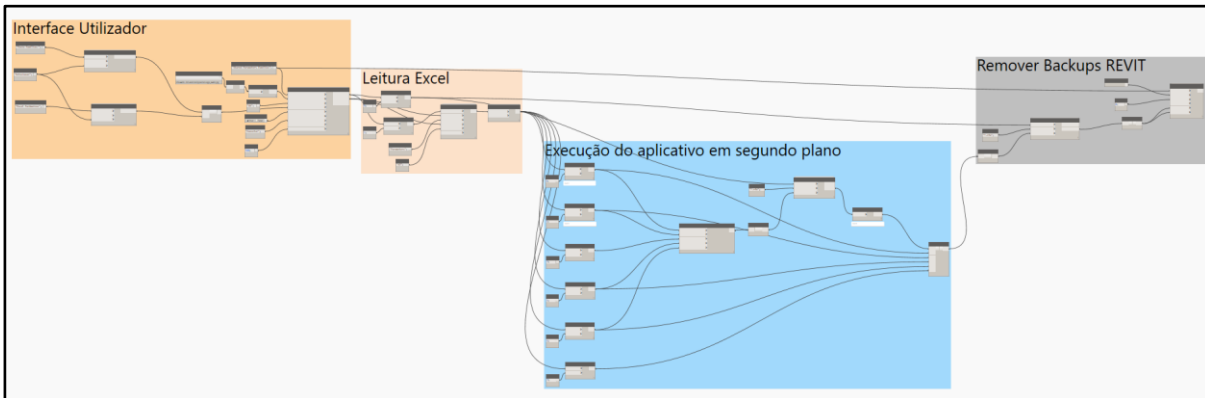


Figura 79-Algoritmo do aplicativo Shared Parameters

De seguida, vai ser demonstrado um exemplo ilustrativo da execução do programa. Assim, os procedimentos a realizar para a utilização da aplicação resumem-se a três passos:

1. Adicionar toda a informação que se pretende atribuir a determinado objeto no ficheiro Excel (Figura 80).

Shared Parameter Name	Shared Parameter Group	Parameter Type	Parameter Group	Is Instance?	Parameter Value
001_Evolução_Fenda_D9.73	Inspeção 30/04/2016	Integer	PG_DATA	true	2cm
002_Evolução_Fenda_D9.73	Inspeção 13/06/2017	Integer	PG_DATA	true	3cm
001_Manutenção_Fenda_D9.73	Inspeção 31/05/2016	Text	PG_IDENTITY_DATA	true	Recobrimento com argamassa
		Text			
		Integer			
		Number			
		Length			
		Area			
		Volume			
		Angle			
		URL			

Figura 80-Tabela Excel para introduzir informação recolhida nas inspeções

Nesta tabela, é necessário introduzir o nome do parâmetro (*Shared Parameter Name*), que será equivalente à identificação da informação que iremos introduzir em determinado objeto, o nome do grupo (*Shared Parameter Group*) no qual estará associado o parâmetro, neste caso a data de inspeção, bem como o valor atribuído ao mesmo (*Parameter Value*). Para além destes parâmetros, ainda se pode indicar o tipo (*Parameter Type*) ao qual se refere o valor atribuído, o grupo (*Parameter Group*) onde a informação estará agrupada dentro das propriedades do

objeto no Revit, e identificar se queremos que seja um parâmetro de instância (*Is Instance?*). Ao definirmos os parâmetros como sendo de instância, é possível atribuir valores diferentes a objetos da mesma família.

2. Executar o código do *Shared Parameters* no Dynamo Player (Figura 81);

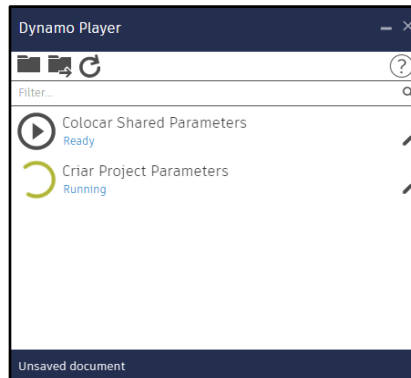


Figura 81-Dynamo Player

3. Indicar a pasta dos objetos de inspeção e o ficheiro Excel com os parâmetros que queremos adicionar a cada um deles (Figura 82).

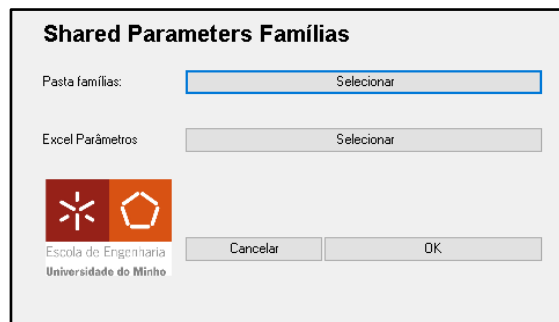


Figura 82-Shared Parameters (Dynamo Player)

No final de ter atribuído os parâmetros e respetiva informação aos objetos, é necessário voltar a carregá-los no modelo BIM, sendo que esses sofreram uma atualização desde a última vez que foram inseridos no modelo. Na Figura 83, podem verificar-se as propriedades adicionadas a um objeto, com a respetiva informação que foi inserida na tabela Excel da Figura 80 e, posteriormente, adicionada com recurso a aplicação *Shared Parameters*.

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto

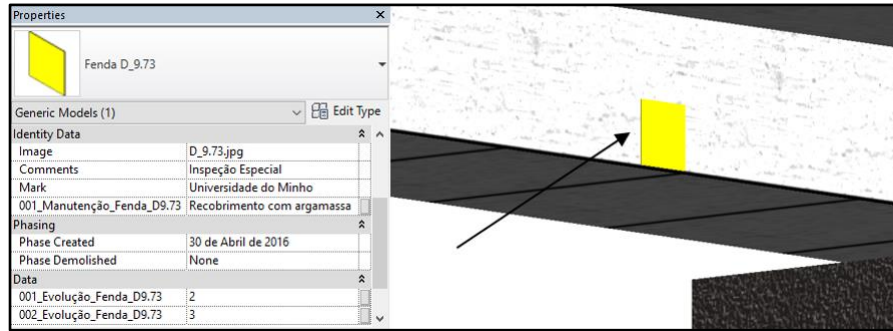


Figura 83-Informação adicionada com recurso a aplicação Shared Parameters

#### 5.4.2 Project Parameters

Uma vez que nas inspeções existe um registo fotográfico das anomalias identificadas, torna-se fundamental conseguir atribuir esse parâmetro de forma automatizada em cada objeto no modelo BIM. O aplicativo desenvolvido permite, ao nível do modelo, criar parâmetros, neste caso de imagem, para todos os objetos de uma determinada categoria. Assim sendo, o nome e a categoria do parâmetro serão iguais para todos os objetos de uma determinada categoria, mas a imagem que estará associada a esse mesmo parâmetro será diferente para cada objeto.

Na Figura 84, apresenta-se de forma sucinta a estrutura do algoritmo do aplicativo *Project Parameters*.

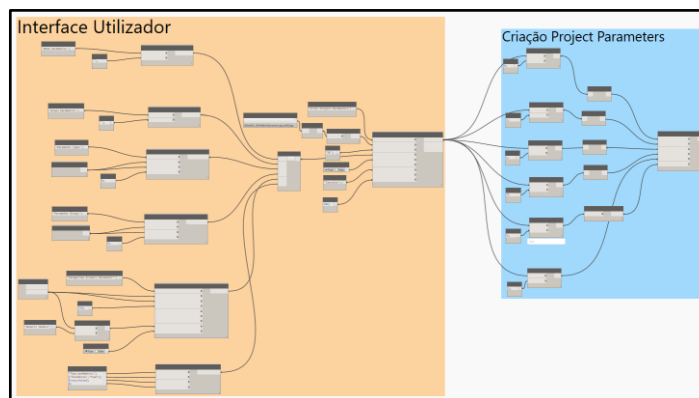


Figura 84-Algoritmo do aplicativo Project Parameters

Para utilizar o programa, à semelhança do *Add-In* para a criação de *Shared Parameters*, basta executar o aplicativo *Project Parameters*, como se pode verificar na Figura 81, e, de seguida, atribuir o nome do parâmetro e o respetivo grupo, sendo que os restantes já se encontram pré-

definidos, mas podem ser alterados a qualquer altura pelo utilizador, caso o entenda fazer (Figura 85).

**Criar Project Parameters**

Nome Parâmetro: 001\_Evolução\_Delaminação

Grupo Parâmetro: Inspeção 12/05/2016

Parameter Type: Image

Parameter Group: PG\_IDENTITY\_DATA

Categorias: Project Parameter: Generic Models

Tipo parâmetro:

Instância

Tipo

Cancelar OK

Escola de Engenharia  
Universidade do Minho

Figura 85-Project Parameters (Dynamo Player)

Depois de ter criado os parâmetros de imagem em determinados objetos, nos quais contempla a identificação e respetiva data, restará associar as fotografias das anomalias, que devem ser adicionadas no modelo BIM com recurso à ferramenta *Manage Images*, ao respetivo parâmetro do objeto (Figura 86).

Raster Image	Name	Count	Path
	Colonização biológica nos acrotérios E2.JPG	2	C:\Users\Gabriel Sousa\Documents\Engenharia Civil\5º ano\2º Semestre\Dissertação\ Ponte de Ruivães\Imagens\Colonização biológica nos acrotérios E2.JPG
	Colonização biológica.JPG	1	C:\Users\Gabriel Sousa\Documents\Engenharia Civil\5º ano\2º Semestre\Dissertação\ Ponte de Ruivães\Imagens\Colonização biológica.JPG
	D_7.44.jpg	1	C:\Users\Gabriel Sousa\Documents\Engenharia Civil\5º ano\2º Semestre\Dissertação\ Ponte de Ruivães\Public\Anexos\D_7.44.jpg
	D_9.73.jpg	1	C:\Users\Gabriel Sousa\Documents\Engenharia Civil\5º ano\2º Semestre\Dissertação\ Ponte de Ruivães\Public\Anexos\D_9.73.jpg
	Direita.jpg	1	C:\Users\Gabriel Sousa\Documents\Engenharia Civil\5º ano\2º Semestre\Dissertação\ Ponte de Ruivães\Public\Direita.jpg

Add... Delete Reload From... Reload

OK Cancel

Figura 86-Manage Images (Revit)



## 5.5 Caso de estudo (Modelo Revit Ponte Saltadouro)

### 5.5.1 Considerações gerais

Como se tem verificado ao longo desta dissertação, a inclusão da informação correspondente a processos de inspeção em obras de arte em modelos BIM ainda não se encontra generalizada, pelo que se considera que este será um estudo exploratório das vantagens que podem ser obtidas com esta estratégia.

Assim, o caso de estudo selecionado para criar um modelo completo seguindo as metodologias ‘Building Information Modelling’, e tendo em conta as tecnologias que estavam disponíveis, selecionou-se a ponte do Saltadouro, como já foi mencionado. O enriquecimento e a informação adquirida durante a inspeção foram de tal ordem que o BIM se apresentou como um meio de introduzir a mesma, de forma eficiente, e de gerir a base de dados.

O estudo aqui efetuado envolve a discussão sobre a inclusão da informação obtida na inspeção num modelo tridimensional, seguindo as propostas de LOD, regras de modelação, introdução da informação e o fluxograma, que foram propostos anteriormente para a aplicação da metodologia BIM em inspeções de obras de arte. Também se apresenta as oportunidades ao nível das capacidades do software em termos de gestão da informação da inspeção, facilitando a análise da informação coletada, bem como a comparação com inspeções futuras e ainda a criação de relatórios de inspeção.

Os trabalhos realizados destinaram-se essencialmente à demonstração de viabilidade do conceito e não à exaustividade do modelo em si relativamente à inspeção. O modelo foi construído com perspectiva de atualizações em inspeções futuras, atualização de informação, mantendo, no entanto, todo o historial prévio, mas ainda que permitisse a consulta facilitada de toda a informação por um utilizador pouco experiente do software, e desejavelmente através de visualizador gratuito.

As secções que se seguem referem-se à modelação da geometria e armaduras, bem como da informação adicional resultante da inspeção, a criação de relatórios de inspeção e uma discussão sobre aspetos relacionados com a disponibilização da informação através de um visualizador gratuito.

### 5.5.2 Modelação da geometria, incluindo nuvens de pontos

O ponto de partida para a modelação da geometria dos componentes da ponte baseou-se no LOD Bridge 300 e respeitou todos os conceitos gerais de modelação e específicos para cada componente da ponte, como definido nas regras de modelação e nível de desenvolvimento. A modelação foi inicialmente efetuada com base nas medições obtidas com fita métrica e distanciómetro laser. Adotou-se a estratégia de modelar a geometria de referência, no sentido em que não se pretendeu representar as imperfeições geométricas resultantes da construção, ou as deformações em si, visto que não existiam ângulos de desvio superiores a 5 graus. Para esse feito, procedeu-se à incorporação da nuvem de pontos no modelo em si.

O aspeto global do modelo tridimensional da geometria da ponte pode ser visto na Figura 87. Regista-se que foram sempre utilizadas famílias de objetos nativas do software, o que permite tirar proveito ao nível da facilidade/rapidez de modelação e da capacidade de introdução de informação no mesmo. De entre as famílias utilizadas, destacam-se as seguintes: *column*, *beam*, *wall*, *rail*.



Figura 87-Visão global 3D do modelo

Dado que o levantamento laser scanning disponível se encontrava em formato Recap, adequado para a importação direta em Revit, efetuou-se a sobreposição da nuvem de pontos ao modelo BIM inicialmente realizado. A sobreposição (alinhamento) do modelo com a nuvem de pontos foi efetuada por um processo combinado para assegurar similitude de zonas medidas com fita métrica aquando do levantamento, particularmente na secção do pilar e nas secções transversais da viga na vizinhança do pilar. Neste procedimento, verificou-se que existiu uma excelente coerência entre o levantamento laser e as medições efetuadas com fita métrica. Essa coerência pode ser verificada na Figura 88, ao nível da secção transversal da viga na vizinhança do pilar.

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto



Figura 88-Sobreposição entre o modelo BIM e o levantamento laser scanning ao nível da secção transversal da ponte

A confiança no levantamento laser permitiu que fossem realizados alguns ajustes ao modelo BIM, em locais onde a medição tinha sido mais dificultada e, por vezes, incompleta, como por exemplo, nos encontros por dificuldades de acesso.

Refere-se adicionalmente que a nuvem de pontos fica embebida no modelo BIM, permitindo a comparação com a geometria do modelo em qualquer instante, bem como a análise da evolução da geometria, incluindo a deformada da ponte em inspeções subsequentes que recorram a esta técnica.

### 5.5.3 Modelação das armaduras

Desenvolveu-se, de seguida, um modelo equivalente a um LOD Bridge 400, no qual se efetuou a modelação das armaduras com um grau de desenvolvimento elevado com base nos resultados obtidos sobre a generalidade das armaduras descritas na seção 3.2.2. As zonas de amarração e extremidade das armaduras foram modeladas de forma simplificada, não correspondendo, portanto, ao resultado do levantamento, dada a falta de informação para o efeito. As armaduras foram modeladas com recurso à família *rebar* que é nativa no software utilizado, tendo-se recorrido aos diversos automatismos de modelação disponíveis.

Apresenta-se, na Figura 89, o esquema geral das armaduras do tabuleiro no modelo, e na Figura 90, um esquema parcial das armaduras na vizinhança a meio vão, onde podem identificar-se todas as armaduras longitudinais e transversais modeladas.

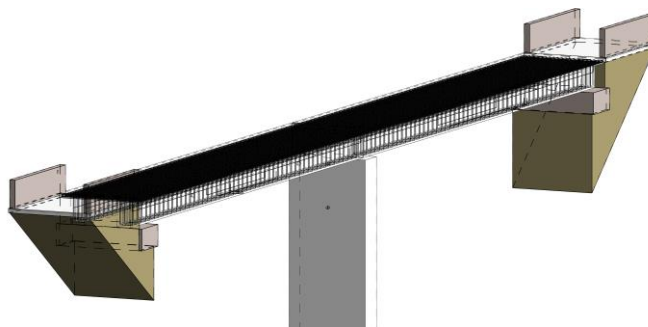


Figura 89-Visão global das armaduras modeladas no tabuleiro

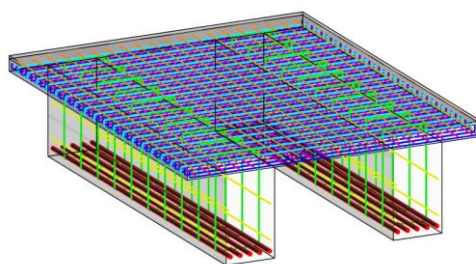


Figura 90-Aspetos das várias armaduras existentes na vizinhança do meio vão

#### 5.5.4 Modelação e introdução de informação adicional da inspeção

A modelação da informação passou por duas abordagens, uma primeira, na qual se efetuou uma modelação explícita dos elementos recolhidos ao longo da inspeção, e uma segunda, por modelação simbólica. Passa-se a explicar quais foram os procedimentos em cada uma destas abordagens, de modo a justificar a decisão final que foi referida e proposta na seção 5.3., perante a criação de famílias denominadas de *Patch* na qual estaria alocada toda a informação da inspeção.

- Modelação explícita

Para efeito de modelação explícita da informação obtida durante a inspeção, relevam-se os seguintes aspetos principais a modelar, que serão descritos de forma sequencial na presente subseção: carotes, janelas de inspeção, fendas.

As carotes extraídas foram modeladas como cilindros de betão com a geometria e localização real da própria carote. Nas carotes verticais extraídas na laje, foram usadas famílias de objetos ‘pilar’, enquanto nas carotes horizontais extraídas na viga ou pilar, foram utilizadas famílias de objeto ‘viga’. A razão desta opção de modelação prendeu-se com restrições relacionadas com

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto

a gestão de famílias por parte do software utilizado. Na Figura 91, pode-se observar a representação das carotes no modelo BIM e um exemplo das informações recolhidas na inspeção associadas às propriedades de uma carote. Refira-se que a consulta direta destes objetos no modelo BIM permite a análise de extração, bem como, o acesso às fotos de cada carote e do relatório de ensaio da mesma.

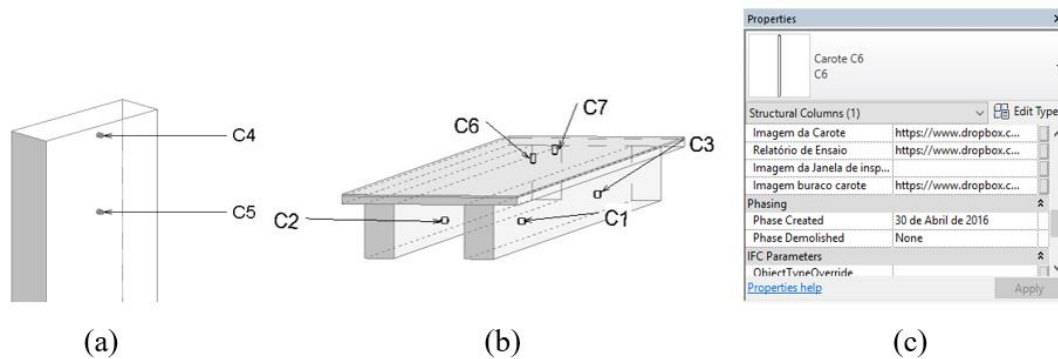


Figura 91-Carotes no modelo BIM: (a) no pilar; (b) no tabuleiro; informação recolhida na inspeção associada as propriedades de uma carote (c)

As três janelas de inspeção realizadas foram também documentadas com processo análogo ao já representado para as carotes, tendo resultado igualmente o registo da informação correspondente nos objetos criados para a sua representação. Pode observar-se, na Figura 92, a visualização das três janelas de inspeção no modelo, que podem ser consultadas de forma interativa.

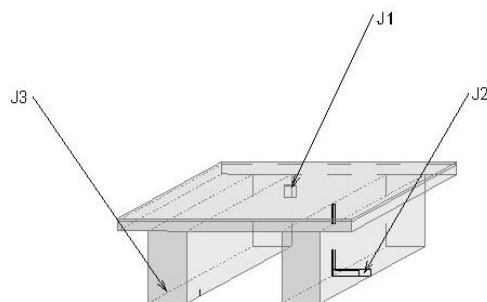


Figura 92-Janelas de inspeção no modelo BIM

Para as fendas, utilizou-se um subterfúgio de modelação, dada a ausência de famílias de objetos a partir das quais se pudesse fazer adaptações para modelar a fenda de forma fidedigna. Fez-se, portanto, a modelação das fendas a partir de um elemento de viga, com espessura residual e configuração visualmente semelhante à fenda observada. Na Figura 93, pode observar-se um exemplo visual de duas fendas modeladas.

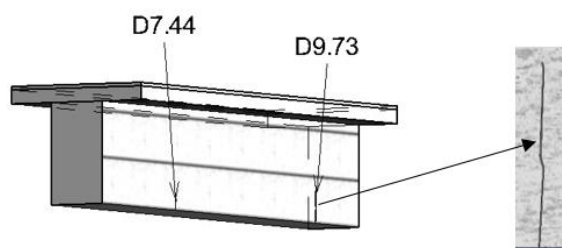


Figura 93-Representação de duas fendas num troço de viga do modelo

A modelação das fendas demonstrou não ter automatismo suficiente para que seja uma solução viável neste tipo de contexto, uma vez que cada um deles tem especificidades geométricas próprias e o software tem algumas limitações. Ainda assim, a introdução da informação é demasiado repetitiva, o que provoca uma baixa produtividade no desenvolvimento de um modelo para gestão da manutenção em obras de arte.

Em ambos os objetos que foram aqui referidos, a introdução da informação foi feita manualmente, criando parâmetros nos quais está indexada informação sobre a fotografia correspondente, URL para ter acesso a relatórios de inspeção ou outro tipo de documento, informação textual, e, ainda, a data de inspeção na qual foram recolhidas as informações da inspeção. É importante referir que as datas de inspeção devem ser associadas ao projeto do modelo BIM, identificadas como fases, permitindo, assim, associar os objetos a diferentes datas de inspeção (Figura 94). Em qualquer altura, é possível adicionar novas datas de inspeção.

Phasing

Project Phases Phase Filters Graphic Overrides

PAST

	Name	Description
1	Existing	
2	30 de Abril de 2016	Levantamento de Fendas, Patologias e Armaduras e Extração de Carotes
3	31 de Maio de 2016	Levantamento da Ponte com a Tecnologia Laser Scanning
4	05 de Julho de 2017	Levantamento da Ponte com maquina 360º

Figura 94-Datas de inspeção associadas ao modelo BIM

- Modelação simbólica

Deste modo, como foi referido na seção 5.3, desenvolveu-se a criação de famílias denominadas *Patch* na qual estará alocada toda a informação da inspeção, sendo a informação que realmente se pretendeu obter e não a representação explícita da anomalia, uma vez que não se justifica o tempo despendido para que isso seja possível. Passa-se a explicar o procedimento da abordagem da modelação simbólica no modelo BIM.

A modelação simbólica através de *Patch* permite que todas as anomalias sejam modeladas da mesma forma sem necessidade de recorrer a geométricas específicas.

Estas famílias de objetos foram modeladas como um simples retângulo, que pode ter uma cor diferente para identificar especificamente conjuntos distintos de patologias, caso o utilizador o entenda fazer. Estes objetos foram todos modelados como ‘*Generic Models*’, independentemente de terem orientações verticais ou horizontais, e contemplam uma localização real de onde se situam no modelo BIM. A representação do objeto não tem grande importância, uma vez que a sua função é permitir identificar onde existem anomalias ou danos na estrutura e agregar um conjunto de informação que caracterize o dano. Esta solução permite, assim, aproximar em todas as inspeções a forma como se realiza a modelação dos objetos e a forma como se irá introduzir a informação. Com esta solução, conseguimos gerar um mapeamento das anomalias de forma rápida e eficiente. Na Figura 95, pode observar-se a representação desses objetos no modelo BIM.

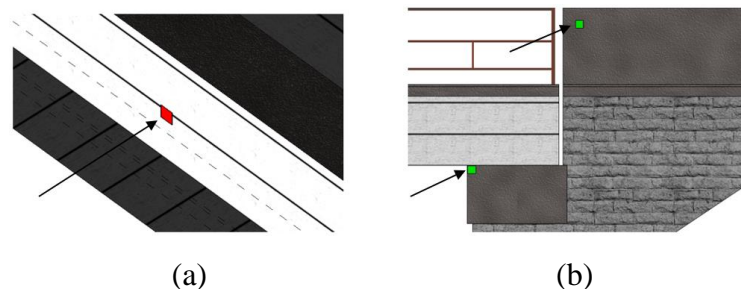


Figura 95-Identificação de anomalias por Patch no modelo BIM (a) corrosão; (b) colonização biológica

Para introduzir a informação nos objetos, recorreu-se à aplicação apresentada na seção 5.4, que demonstrou ter capacidades e funcionalidades para adicionarmos quantidades elevadas de informação a um conjunto de objetos. Refira-se que os objetos estão indexados à data de inspeção, contendo um conjunto de informação que integra o quadro da Figura 77. Essa informação foi agrupada em tabela no Revit (Figura 96), permitindo, assim, que sempre que ocorra alguma atualização perante um objeto desta categoria seja diretamente associada na tabela, de igual forma se adicionarmos mais uma anomalia em formato *Patch*.

<1.2 Patologias>					
A	B	C	D	E	F
Family and Type	Comments	Imagem	Imagem Patologia	Phase Created	Imagem termográfica
Patologia_Corrosão: Patologia_Corrosão	Corrosão visível no troço E2-P1 (face later	P11.JPG	<a href="https://www.dropbox.com/sh/y">https://www.dropbox.com/sh/y</a>	30 de Abril de 2016	
Patologia_Colonização biológica: Patologia_Colonização biológica	Colonização biológica no encontro E2	Colonização biológica.JPG	<a href="https://www.dropbox.com/sh/y">https://www.dropbox.com/sh/y</a>	30 de Abril de 2016	
Patologia_Delaminação_V: Patologia_Delaminação_V	Delaminação na face superior de P1	P18.JPG	<a href="https://www.dropbox.com/sh/y">https://www.dropbox.com/sh/y</a>	30 de Abril de 2016	
Patologia_Colonização biológica: Patologia_Colonização biológica	Colonização biológica nos acrotérios de E	Colonização biológica nos acrotéri	<a href="https://www.dropbox.com/sh/y">https://www.dropbox.com/sh/y</a>	30 de Abril de 2016	
Patologia_Corrosão_H: Patologia_Corrosão_H	Corrosão e delaminação parcial em corres	P2.JPG	<a href="https://www.dropbox.com/sh/y">https://www.dropbox.com/sh/y</a>	30 de Abril de 2016	
Patologia_Delaminação: Patologia_Delaminação	Delaminação na face inferior da laje no tro	P20.jpg	<a href="https://www.dropbox.com/sh/y">https://www.dropbox.com/sh/y</a>	30 de Abril de 2016	<a href="https://www.dropb">https://www.dropb</a>
Patologia_Colonização biológica: Patologia_Colonização biológica	Colonização biológica nos acrotérios de E	Colonização biológica nos acrotéri	<a href="https://www.dropbox.com/sh/y">https://www.dropbox.com/sh/y</a>	31 de Maio de 2016	

Figura 96-Informação das patologias organizada em tabela no Revit

Para além desta informação, o levantamento fotográfico detalhado das faces interiores/inferiores do tabuleiro (apresentado em detalhe no Anexo II) foi também embebido nas superfícies correspondentes das vigas do modelo e foram ainda criadas vistas no Revit em que a fotogrametria está inserida juntamente com o modelo BIM (Figura 97). Resulta, assim, uma forma de visualização que combina o modelo com a realidade em resolução compatível com a análise de todas as imperfeições observadas (com fiabilidade superior à que havia sido registada com laser). Este embebimento da foto superficial fica também indexado à data de inspeção, podendo vir a ser facilmente sobreposto com levantamentos posteriores para efeitos comparativos.

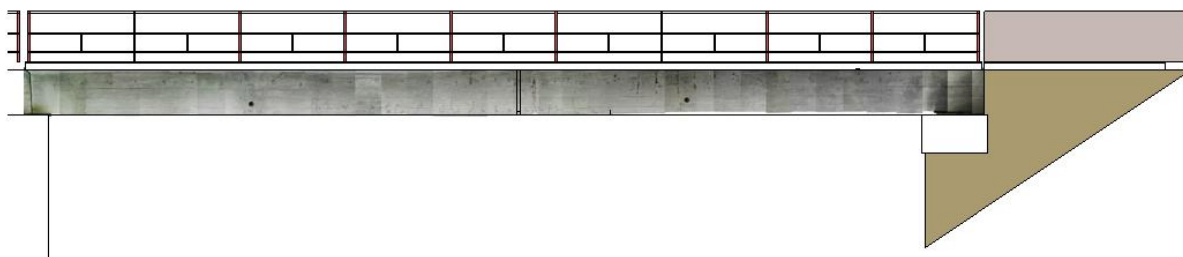


Figura 97-Sobreposição direta da fotogrametria no modelo BIM

Por fim, foi criado um objeto esférico, denominado *Fotografia 360°*, no qual ficará o acumulado de fotografias 360° ao longo das várias inspeções, tiradas a partir desse mesmo local. A acumulação do historial de determinadas zonas será de forma isolada, em cada esfera, com recurso a URL (Figura 98). Permite, assim, que o utilizador tenha acesso de forma direta e facilitada ao local em 360° e, ainda, a toda a informação que a fotografia contempla.



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

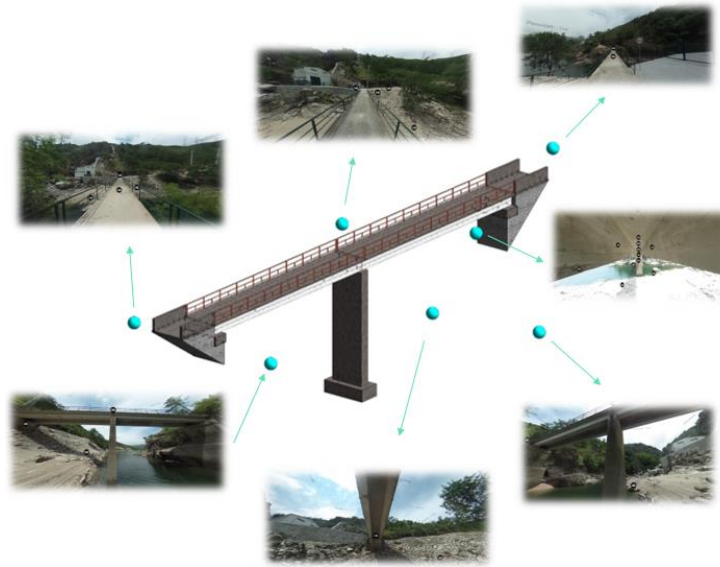


Figura 98-Acumulado das fotografias 360° associado a um objeto denominado de  
“Fotografia360”

#### 5.5.5 Extração de informação relevante do modelo BIM

Após ter-se realizado a atualização do modelo BIM com a informação recolhida na inspeção e se ter realizado uma verificação do modelo atualizado, reúnem-se as condições para poder extrair a informação relevante do modelo e gerar plantas/relatórios de inspeção.

A geração dos relatórios é semiautomática, sendo que é possível gerar uma folha-tipo com a formatação que queremos utilizar quando se pretende produzir um relatório de inspeção, e de seguida associar a informação e vistas que queremos que este contemple. De forma a automatizar ainda mais o processo de identificação dos objetos e da informação associada aos objetos, o software permite criar famílias designadas como *tag*, gerando, assim, uma identificação automática dos danos - patologias, objetos, etc.

Apresenta-se, na Figura 99, um relatório gerado no Revit com alguma da informação que foi recolhida na inspeção da ponte do Saltadouro. No relatório, é possível visualizar a localização da patologia no modelo BIM, bem como a sua identificação, e ainda, a respetiva fotografia.

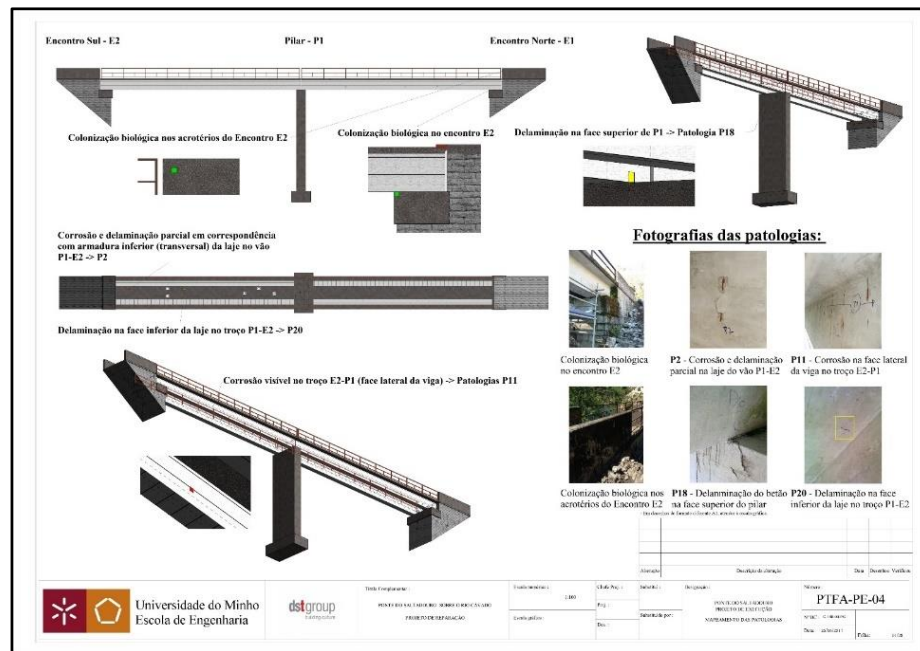


Figura 99-Relatório Universidade do Minho do mapeamento de patologias na ponte do Saltadouro (Revit)

Quando se gerou o relatório da ponte do Saltadouro, o objetivo era conseguir apresentar e organizar toda a informação em conformidade com os relatórios que a BETAR produz, para além dos do sistema GOA, para o mapeamento de patologias em representações 2D de modelos de pontes. Apresenta-se, na Figura 100, um relatório que a empresa criou para o mapeamento de patologias de uma ponte em Fareja, ao longo de um trabalho efetuado para a Câmara Municipal de Vagos, o qual mostra conformidades muito semelhantes ao que obtivemos no software Revit. Uma das grandes vantagens de a informação estar integrada num modelo tridimensional num software como o Revit, é que permite termos uma base de dados que contempla todo o histórico das diversas informações que foram recolhidas nas inspeções a que a obra foi sujeita, e gerar relatórios precisos, que contemplem todo o mapeamento das patologias identificadas, bem como a informação associada a cada uma delas. Ainda assim, consegue-se aumentar a produtividade na gestão da informação em relatórios, de forma direta e rápida, tanto em vistas bidimensional como tridimensional, o que facilita muito a interpretação da informação ao leitor. Por fim, qualquer interveniente que tenha alguma dúvida relativamente à localização de uma patologia ou informação associada à mesma, na situação da ponte do Saltadouro, tem ainda como vantagem a possibilidade de consultar o modelo no Revit ou em visualizador BIM, o que já não acontece para a ponte de Fareja.

Ambos os relatórios que foram referidos podem ser consultados no Anexo VIII.

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto

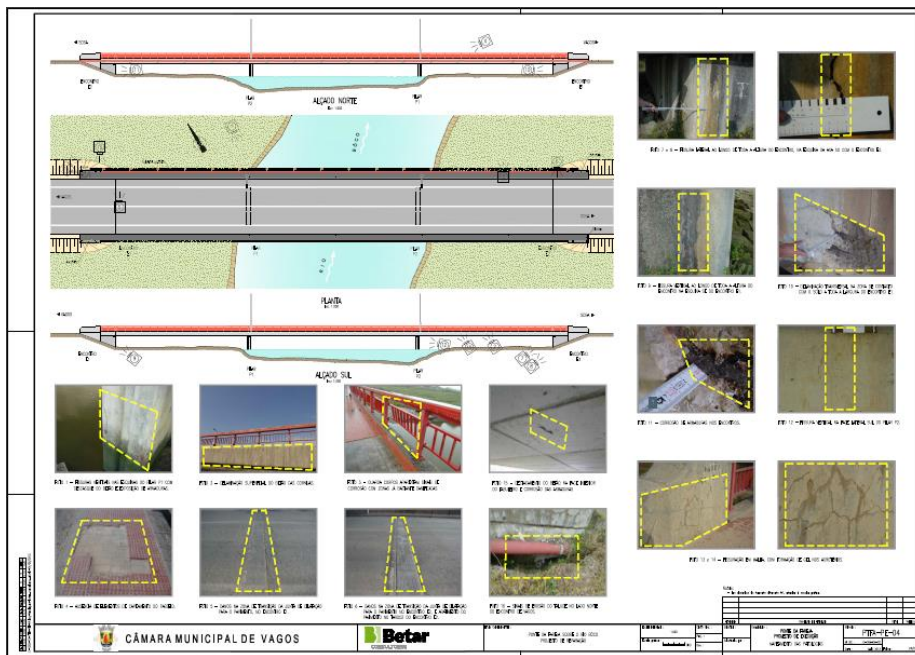


Figura 100-Relatório BETAR do mapeamento de patologias numa ponte em Fareja

### 5.5.6 Disponibilização de informação em visualizador BIM

Para efeitos de disponibilização da informação a utilizadores e/ou entidades que não detenham licença de software BIM, o modelo foi exportado para o visualizador gratuito Autodesk 360®, sem que por isso fossem sentidos problemas de interoperabilidade ou perdas de informação.

Toda a informação presente no modelo é disponibilizada de forma facilitada ao utilizador através de pré-definições de visualização que contemplam não só ângulos de visualização, mas também o tipo e quantidade de informação veiculada. Isto permite que um utilizador inexperiente consiga aceder facilmente a vistas da localização de patologias, armaduras, etc., selecionando vistas gravadas no modelo. O acesso a relatórios também é possível através do visualizador, e a ferramenta digital ainda permite identificar ou adicionar em qualquer zona do modelo, alterações ou informações adicionais durante uma atividade de inspeção. Podemos, ainda, navegar no modelo e pesquisar qualquer objeto pela sua tipologia, consultando todas as propriedades que a ele estão associadas.

Na Figura 101, apresentam-se diversas vistas gerais do visualizador BIM, em que se pode verificar comentários adicionados a objetos, mas também a localizações específicas do modelo,

bem como, propriedades associadas a um elemento, e ainda o acesso ao relatório de inspeção gerado no Revit que foi apresentado na Figura 99.



(a)



(b)



(c)

Figura 101-Vistas gerais do visualizador BIM: (a) comentários associados a objetos e localizações específicas do modelo; (b) propriedades de um elemento; (c) relatório de inspeção Revit

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

## Capítulo 6. CONCLUSÕES

### 6.1 Considerações gerais e particulares

Nesta dissertação, foi apresentada uma proposta de metodologia e uma aplicação piloto para a implementação ‘Building Information Modelling’ no contexto de inspeção e gestão da manutenção de obras de arte em betão armado. Versou também o recurso a tecnologias novas, como o laser scanning, fotografia 360°, e veículos aéreos não tripulados, mas ainda, casos práticos, em particular, a ponte do Saltadouro como caso de estudo. Desenvolveu-se ainda um conjunto de propostas sobre os níveis de detalhe, regras de modelação para cumprir o bom procedimento da realização do modelo no contexto de inspeções, a forma de apresentar a informação, bem como o modo de proceder à sua colocação.

As principais conclusões obtidas no final desta dissertação, subsumem-se nos seguintes tópicos:

1. A utilização do laser scanning é uma oportunidade muito boa para as inspeções em obras de arte: não tem custo para além do investimento inicial, não há desperdícios na sua elaboração, e permite ainda poupar tempo. Num enquadramento em que já esteja ultrapassado o investimento inicial, o custo de despoletar este equipamento é nulo, pois não são necessários consumíveis e não requer contratação de um técnico especializado na área para elaborar este tipo de inspeção, uma vez que é possível formar um inspetor de pontes para o executar.

Nesta dissertação, utilizaram-se duas técnicas de laser scanner - o laser de mão e a estação laser. Verificou-se que o laser de mão é mais adequado para zonas interiores, dado que, nas pontes, pode representar certos problemas pelo facto de ter uma precisão menor, mas os estudos realizados ao longo desta dissertação permitem comparar, num contexto de um edifício, qual a informação que é possível obter. Para levantamentos mais genéricos, é, com certeza, uma ferramenta interessante, mas o alcance que seria necessário para uma obra de arte não será o mais desejável. Relativamente à estação laser scanner, trata-se de uma ferramenta que gera um repositório de informação muito rico, principalmente se for um laser de alta precisão, e possibilita, inclusive, a monitorização de deformadas estruturais com precisões razoavelmente aceitáveis quando se trata de inspeções em obras de arte.

2. Os veículos aéreos não tripulados (VANT) apresentam-se como uma solução capaz de realizar levantamentos geométricos de obras de arte, revelando resultados satisfatórios, próximos da realidade e com um grau de precisão satisfatório. No entanto, a precisão geométrica de fotogrametria e processamento de nuvem de pontos obtida a partir de fotografias de um VANT não é comparável com a de um laser estático, e, portanto, não se deve utilizar este equipamento para monitorização estrutural, ao contrário do laser, que permite que seja realizado dentro das suas limitações; faculta, contudo, uma inspeção visual diferida. Permite gerar uma superfície de uma obra de arte numa fotogrametria superficial, na qual se tem toda a informação indexada aos locais certos, podendo essa ser gerida no modelo tridimensional.

Ainda assim, as obras de arte situam-se, por vezes, em ambientes difíceis para este tipo de equipamentos, com condicionantes, tais como cursos de água ou zonas onde existem influências eletromagnéticas, que podem dificultar a aquisição da informação, como foi o caso da experiência relatada no pontão de Barcelos. Todavia, quando se reúnem condições favoráveis para este tipo de ferramenta, os resultados são muito satisfatórios, como é exemplo a ponte de São Miguel de Arcos.

3. A fotografia 360°, com a sua facilidade e gestão da informação, permite criar um repositório para uma consulta mais ordenada das inspeções, e até possibilita indexar todas as fotografias 360° numa visita virtual. Identificou-se como uma ferramenta que trouxe benefícios para o registo da informação, tendo ficado disponível de forma rápida e intuitiva para o utilizador. No entanto, é uma solução complementar aos processos de inspeção, nos quais se faz a identificação das anomalias numa obra de arte e reconhecimento do local, uma vez que não oferece um mapeamento preciso na localização da informação.
4. Por fim, foi desenvolvida uma metodologia para inspeção e gestão da manutenção nas obras de arte em betão armado em BIM dentro de um software existente, que permitiu agrupar toda a informação recolhida nas inspeções. Conseguiu-se uma contribuição positiva do uso do BIM na manutenção deste tipo de estruturas, nomeadamente, na consulta de informação fornecida pelo modelo e posterior atualização com dados relativos a inspeções efetuadas no local.

Para conseguir alcançar esses objetivos, elaborou-se um plano de execução específico para o contexto de inspeções integrado na metodologia BIM, agrupando a definição de todo um conjunto de processos e metodologias de modelação de informação e geometria. Conjuntamente, foram criadas regras de modelação para os diversos componentes das obras de arte, bem como para os objetos que aparecem intrínsecos nas atividades de inspeção. O nível de detalhe geométrico e a quantidade de informação neste tipo de contexto foram também propostos perante o tipo de inspeção a abordar. O desenvolvimento de um fluxograma para a definição de qual deveria ser o fluxo de trabalho no processo de inspeção em modelo BIM para as obras de arte de betão armado, desde a sua conceção, introdução, atualização da informação recolhida numa inspeção, até à fase de gerar relatórios de inspeção, foi igualmente um trabalho essencial elaborado nesta dissertação.

Perante a necessidade de introduzir uma grande quantidade de informação nos modelos BIM após a realização de uma inspeção, o desenvolvimento da aplicação em Revit aumentou significativamente o grau de automatismo dos processos. Assim, a metodologia permite gerar um repositório com a introdução automatizada dos dados sobre a informação recolhida ao longo de uma inspeção a uma obra de arte num modelo BIM.

A possibilidade de gerar relatórios através do modelo BIM destacou-se como uma oportunidade muito positiva, uma vez que esses apresentaram resultados muito semelhantes àqueles a que já se tinha acesso para o mapeamento das patologias identificadas ao longo de uma inspeção.

O facto de poder navegar e consultar o modelo BIM tendo acesso a toda a informação que é recolhida durante um ato de inspeção, como por exemplo as fotografias das anomalias, é, igualmente, um ponto muito positivo. O modelo BIM apresentou-se efetivamente como uma base de dados interativa e precisa quanto à localização das anomalias.

A disponibilização de informação em visualizador BIM a utilizadores e/ou entidades que não detenham licença de software, também se evidenciou como uma oportunidade para o acesso facilitado de toda a informação embebida no modelo BIM. Essa solução



permite ainda que numa obra de arte o inspetor com recurso a um equipamento digital, tal como um tablet, possa aceder a todo o repositório que está associado ao modelo BIM e ainda criar anotações. A organização da informação através da metodologia BIM é, de facto, muito vantajosa e facilita os processos tradicionais que são usados nos atos de inspeção e gestão da manutenção nas obras de arte atualmente.

Dentro do tempo no qual foi possível desenvolver a dissertação, pretendeu-se obter o maior alcance possível neste estudo. Todavia, não foi possível aprofundar de forma mais abundante os níveis de detalhe geométrico e de informação, tal como as regras de modelação; promoveu-se, no entanto, uma base muito boa e propícia para que se faça uma extensão para estudos futuros neste ramo.

## 6.2 Desenvolvimentos futuros

Como era nosso objetivo, esta dissertação é um estudo pioneiro para a implementação da metodologia ‘Building Information Modelling’ (BIM) nas atividades de inspeção e gestão da manutenção em obras de arte. Estabeleceram-se metodologias de inspeção para apoio na obtenção de informação relevante para a modelação geométrica, bem como de informação adicional, e, foi, ainda, elaborado um conjunto de regras de modelação e níveis de detalhe que o modelo deve contemplar para corresponder a um modelo de gestão de manutenção. No entanto, no final dos estudos realizados, como esta dissertação comprova, deixámos em aberto, para desenvolvimentos futuros, os seguintes tópicos:

- Desenvolvimento de um manual específico de LOD Bridge;
- Estudo mais aprofundado nas regras de modelação;
- Aperfeiçoamento da integração do modelo BIM com a nuvem de pontos;
- Melhoramento da aplicação que se desenvolveu;
- Incorporação da componente tempo com a criação de modelos de previsão/degradação no tempo;
- Elaboração de uma base de dados de intervenções tipo para que um inspetor possa sugerir como mais ajustadas para solucionar o dano encontrado. Essa base de dados seria depois também a mesma de um sistema de gestão;
- Planeamento das intervenções com a integração dos resultados da ferramenta de gestão dos ativos, que correspondem a cenários de intervenções no tempo para gestão de obras

de arte, no modelo BIM. Permitindo desta forma, a visualização de qual intervenção, das definidas na base de dados, seria mais ajustada.

Estes são alguns dos pontos que deveriam ser aprofundados para dar continuidade aos resultados e desenvolvimentos que se consagraram nesta dissertação, promovendo futuramente um contributo mais elaborado a este estudo. Existe, de facto, uma viabilidade muito grande para continuar a desenvolver este trabalho, sendo necessário conseguir gerir de forma eficiente o estado de manutenção e as atividades de inspeção nas obras de arte nacionais como internacionais. A metodologia apresentada tem condições para que isso seja possível. Assim se espera que nos próximos anos haja avanços nesta especialidade.

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

## REFERÊNCIAS

- Adams, S. M., Levitan, M. L., & Friendland, C. J. (2013). High Resolution Imagery Collection Utilizing Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Post-Disaster Studies. Miami, Florida, USA.
- Agisoft. (3 de novembro de 2017). *Agisoft PhotoScan*. Obtido de [www.agisoft.com](http://www.agisoft.com): [http://www.agisoft.com/pdf/photoscan\\_presentation.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan_presentation.pdf)
- Almeida, J. M. (2003). *Gestão de Pontes Rodoviárias: um modelo aplicável em Portugal*. tese de mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Al-Neshawy, F., Piironen, J., Peltola, S., & Puttinen, J. (2009). The potential of the terrestrial laser scanning for geometrical building facades inspection. *Journal of Structural Mechanics*, 235-245.
- Álvarez, C., Roze, A., Halter, A., & Garcia, L. (13 de October de 2017). *albris The intelligent mapping & inspection drone*. Obtido de [senseFly](https://www.sensefly.com/fileadmin/user_upload/sensefly/newsandpress/senseFly_white_Paper_generating_highly_accurate_3D_data_using_a_senseFly_albris_drone.pdf): [https://www.sensefly.com/fileadmin/user\\_upload/sensefly/newsandpress/senseFly\\_white\\_Paper\\_generating\\_highly\\_accurate\\_3D\\_data\\_using\\_a\\_senseFly\\_albris\\_drone.pdf](https://www.sensefly.com/fileadmin/user_upload/sensefly/newsandpress/senseFly_white_Paper_generating_highly_accurate_3D_data_using_a_senseFly_albris_drone.pdf)
- Amaral, M. M. (2014). *Caraterização e modelação de fissuras em edifícios utilizando 3D Laser Scanning, com vista à sua reabilitação*. tese de mestrado: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- ANAC, A. N. (3 de novembro de 2017). *ANAC - Voa na boa*. Obtido de [www.voanaboa.pt](http://www.voanaboa.pt): <http://www.voanaboa.pt/Files/downloads/Form-RPAS-Portugal-PT-V12.pdf>
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, Vol. 11, pp.241-252.
- B., C., Guan, H., Jo, J., & Blumenstein, M. (15 de August de 2015). Towards UAV-based bridge inspection systems: a review and an application perspective. *Structural Monitoring and Maintenance*, pp. 283-300.
- Ballesty, S. (2007). Building Information Modelinf for Facilities Management using IFC . pp. 1-10.
- Becerik-Gerber, B., & Kensek, K. (2010). Building Information Modeling in Architecture, Engineering, and Construction: Emerging Research Directions and Trends. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, Vol. 136, pp. 139-147.
- BETAR. (2006). *Manual de Inspeções Principal*. Lisboa.
- BETAR. (2006). *Manual de Inventário*. Lisboa.

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

BETAR. (2006). *Manual de Inspeções de Rotina*. Lisboa.

BIMForum. (3 de novembro de 2017). Obtido de [www.bimforum.org](http://www.bimforum.org): <http://bimforum.org/lod/>

Bittencourt, T. N., Frangopol, D. M., & Beck, A. T. (2016). Maintenance, Monitoring, Safety, Risk and Resilience of Bridge and Bridge Networks. *Proceedings of the Eighth International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS 2016)*. Foz do Iguaçu, Brazil: CRC Press.

Boehler, W., Heinz, G., & Marbs, A. (2001). The Potencial of Non-Contact Close Range Laser Scanners for Cultural Heritage Recording. International Symposium, Proceedings. : Postdam, Germany .

Brito, J. d. (July de 2001). Normalização de Processos na Inspeção de Pontes. *ResearchGate*, pp. 1-10.

Chan, B., Guan, H., Hou, L., & al. (2016). *Struct Health Monit.*

Chen, S. E. (28 de March de 2012). *Laser Scanning Technology for Bridge Monitoring*. Obtido de InTech: <http://www.intechopen.com/books/laser-scanner-technology/laser-scanner-technology-for-bridge-monitoring>

Chen, W.-F., & Lian, D. (1999). *Bridge Engineering Handbook*. CRC-Press.

CloudCompare. (3 de novembro de 2017). *CloudCompare - Open Source project*. Obtido de <http://www.danielgm.net/cc/>

Costa, V. M. (2009). *Desempenho e Reabilitação de Pontes Rodoviárias: Aplicação a Casos de Estudo*. tese de mestrado: Universidade do Minho.

Dezen-Kempton, E., & al. (2015). Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas. *Gestão e Tecnologia de Projetos*. 10(2), pp.113-124.

DroneDeploy. (3 de novembro de 2017). *DroneDeploy: Powerful Drone & UAV Mapping Software*. Obtido de <https://www.dronedeploy.com/>

East, E. W. (2007). *Construction Operations Building Information Exchange (COBIE): Requirements Definition and Pilot Implementation Standard*. U.S. Army Corps of Engineers .

Eastman, C. J. (2010). Exchange Model and Exchange Object Concepts for Implementation of National BIM Standards. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 24, 25.

Ellingwood, B. R., & Lee, J. Y. (2016). Life cycle performance goals for civil infrastructure: intergeneration risk-informed decisions. *Structure and Infrastructure Engineering* , 822-829.

- EP. (2015). *Manual de Inspeções Principais, Especificações Técnicas*. Estradas de Portugal, S.A.
- EP. (2015). *Manual de Inspeções de Rotina*. Estradas de Portugal, S.A.
- EP. (2015). *Manual de Inventário, Especificações Técnicas*. Estradas de Portugal, S.A.
- Fernandes, S., Ramos, L. F., & Fernandes, F. (2016). *Levantamento e Diagnóstico Estrutural com recurso a Fotogrametria*. Universidade do Minho: ISISE.
- Goedert, J., & Meadati, P. (2008). Integrating Construction Process Documentation into Building Information Modeling. 134(7).
- Hachem, Y., Zografos, K., & Soltani, M. (1991). Bridge Inspection Strategies. *J. Performance of Constructed Facilities*, 37-56.
- Infraestruturas de Portugal . (3 de novembro de 2017). Obtido de <http://www.infraestruturasdeportugal.pt>:  
<http://www.infraestruturasdeportugal.pt/centro-de-imprensa/89-das-obras-de-arte-da-rede-rodoviaria-ip-classificadas-com-estado-de>
- Isikdag, U., & Underwood, J. (2010). Two design patterns for facilitating Building Information Modeling based synchronous collaboration. *Journal of Construction Engineering and Management Automation in Construction*, pp.544-553.
- Jacobs, C. (2004). *Interactive Panoramas: Techniques for Digital Panoramic Photography (X.media.publishing)*. Springer.
- Jennifer Zink, P. E. (06 de September de 2016). *Will drones transform bridge inspection?* Obtido de Roads&Bridges: <https://www.roadsbridges.com/will-drones-transform-bridge-inspection>
- Jesus, R. F. (2015). *Inspeção e Reabilitação de Pontes e Viadutos em Betão Armado na R.A.M.* tese de mestrado: Universidade da Madeira.
- Kamya, B. (2010). *"Bridge inspection: Are we getting it right?"*. London: Bridge Maintenance, Safety, Management and Life-Cycle Optimisation, Taylor & Francis Group.
- Lino, J., Azenha, M., & Lourenço, P. (2012). Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas. *Encontro Nacional Betão Estrutural - BE2012*, pp. 22-26.
- Lovelace, B., Engineers, C., & Inc. (2015). *Unmanned Aerial Vehicle Bridge Inspection Demonstration Project*. Minnesota Department of Transportation .
- Manterola, J., & Cruz, P. (2004). *Pontes; História e Princípios Gerais*.
- Matos, J. C., Amado, J., Fernandes, S., & Galvão, N. (2017). An overview of COST Action TU1406, Quality Specifications for. *Life-cycle of engineering systems: emphasis on*

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

*sustainable civil infrastructure: proceedings of the Fifth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE 2016)*, ISBN 978-1-138-02847-0.

- McGuire, B., Atadero, R., Clevenger, C., & Ozbek, M. (2014). Bridge Information Modeling for Inspection and Evaluation. *Journal of Bridge Engineering*, 21(4).
- Mell, P., & Grance, T. (10 de 7 de 2010). The NIST Definition of Cloud Computing .
- Mendonça, T., & Brito, V. (2008). Sistema de Gestão de Obras de Arte (GOA). *5º Congresso Luso-Moçambique de Engenharia 2º Congresso de Engenharia de Moçambique*.
- Mendonça, T., Brito, V., & Milhazes, F. (2010). Aplicação de gestão de obras de arte - goa-nova geração. *BETAR Consultores Lda*, pp. 1-10.
- Messner, J., Hunter, S., & Anumba, C. (2010). *Project Execution Planning for Building Information Modeling (BIM) A BuildingSMART Alliance Project*. Penn State University.
- Neves, C., & al. (2015). *Infraestruturas rodoviárias sustentável*. Lisboa: U.N.
- Pano2VR. (3 de novembro de 2017). *Pano2VR - Create Virtual Tours*. Obtido de Garden Gnome Software : <https://ggnome.com/pano2vr>
- Pärn, E., Edwards, D., & Sing, M. (2017). The building information modelling trajectory in facilities management . *Automation in Construction* , pp. 45-55.
- Remake. (novembro de 3 de 2017). *Autodesk ReMake* . Obtido de <https://remake.autodesk.com/about>
- Renato, F. (14 de Abril de 2012). *O que é fotografia panorâmica*. Obtido de techtudo: <http://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2012/04/o-que-e-fotografia-panoramica.html>
- Ribeiro, N. M. (2012). *Fotografia Panorâmica Aplicada a Visitas Virtuais em Contexto Escolar*. Universidade Aberta: tese de mestrado.
- Ryall, M. J. (2000). *Manual of Bridge Engineering* . London.
- Sacks, R., Kedar, A., Borrmann, A., Ma, L., Singer, D., & Kattel, U. (2016). SeeBridge Information Delivery Manual (IDM) for Next Generation Bridge Inspection. *33 rd Internation Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*, (pp. 1-8).
- Sacks, R.; Kaner, I.; Eastman, C. M. (2010). The Rosewood experiment - Building information modeling and interoperability for architectural precast facades. *Automation in Construction*, 19(4): p. 419-432.

- Santos, J. (2010). *Fotografia, Luz, Exposição, Composição, Equipamento e dicas para fotografar em Portugal*. Centro Atlântico.
- Santos, J. M. (2008). *Avaliação da Integridade Estrutural de Pontes de Betão - o caso da Ponte Nossa Senhora da Guia*. tese de mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Sarkis, P. J., & Sarkis, J. M. (2016). Uso de Drone em Inspeção e Definição de Recuperação em OAEs. *IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS*, (pp. 1-10). Rio de Janeiro.
- Schaffers, C. (2017). II Encontro Nacional de Utilizadores Laser Scanning Leica Geosystems - "Reabilitar a Partir das Nuvens". *The future of capturing reality - Introducing the Leica BLK360 Imaging Scanner* (pp. 1-51). Centro de Congressos da Alfândega do Porto: Leica Geosystems.
- Shanbari, H., & al. (2016). Laser Scanning Technology and Bim in Construction Management Education. *Journal of Information Technology in Construction*, 21(21), pp.204-217.
- Simões, D. (2013). Manutenção de edifícios apoiada no modelo BIM. pp.105.
- Sun, X., Huang, J., Liu, W., & Xu, M. (2012). Pavement crack characteristic detection based on sparse representation. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 191.
- Tang, P., Akinci, B., & Garret, J. H. (January de 2007). Laser Scanning for Bridge Inspection and Management. *ResearchGate*, pp. 1-9.
- The American Institute of Architects. (03 de October de 2017). *Level of Development Specification*. BIM Forum .
- Valença, J., Puente, I., Júlio, E., González-Jorge, H., & Arias-Sánchez, P. (2017). Assessment of cracks on concrete bridges using image processing supported by laser scanning survey. *Construction and Building Materials* 146, 668-678.
- Yabuki, N., Lebegue, E., Gual, J., Shitani, T., & Zhantao, L. (2006). International Collaboration for Developing the Bridge Product Model "IFC-BRIDGE". *Joint International Conference on Computing and Decision Making Civil and Building Engineering*, (p. 10). Montréal, Canada.



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

# ANEXO I – FICHAS DE TRABALHO DE MANUTENÇÃO, LISTA DE ANOMALIAS, TRABALHOS DE REPARAÇÃO DA BETAR

Trabalhos de Manutenção		
		 
Tabuleiro		Unidade
<b>1.07.01.00</b>	<b>Limpeza</b>	
1.07.01.01	de superfícies horizontais e verticais	m2
<b>1.07.02.00</b>	<b>Remoção</b>	
1.07.02.01	de calços ou objectos inseridos em juntas ou entre elementos	un.
1.07.02.02	de pregos de cofragem ou varões	un.
<b>1.07.03.00</b>	<b>Reparação</b>	
1.07.03.01	do betão, em zonas localizadas (<2m²)	m2
1.07.03.02	de reboco, em zonas localizadas (<2m²)	m2
<b>1.07.06.00</b>	<b>Pintura</b>	
1.07.06.01	da superfície metálica com corrosão pontual, em zonas localizadas (<2m²)	m2
1.07.06.05	de superfície de betão ou superfícies rebocadas, em zonas localizadas (<2m²)	m2
<b>1.07.07.00</b>	<b>Preenchimento ou Selagem</b>	
1.07.07.02	de juntas de dilatação ou construção entre elementos de betão, com mástique (<5m)	m
1.07.07.03	de juntas de dilatação ou construção entre elementos de betão, com cordão estanque (<5m)	m
1.07.07.05	de juntas de alvenaria, em zonas localizadas (<5m)	m
<b>2.07.02.00</b>	<b>Remoção</b>	
2.07.02.02	de pregos de cofragem ou varões	un.
<b>2.07.03.00</b>	<b>Reparação</b>	
2.07.03.02	superficial do betão (<30mm) removendo o betão degradado, limpando e protegendo armaduras	m2
2.07.03.03	do betão em profundidade (>30mm) removendo o betão degradado, limpando e substituindo ou reforçando as armaduras, aplicando argamassa não retráctil	m2
2.07.03.04	do betão em profundidade (>30mm) removendo o betão degradado, limpando e substituindo ou reforçando as armaduras, aplicando betão projectado	m2
2.07.03.05	do betão em profundidade (>30mm) removendo o betão degradado, limpando e substituindo ou reforçando as armaduras, aplicando betão moldado "in situ"	m3
2.07.03.07	de revestimento em reboco, generalizada	m2
2.07.03.21	de pavimento antiderrapante	m2
<b>2.07.04.00</b>	<b>Substituição ou Colocação</b>	
2.07.04.23	de pingadeira em tabuleiros	m
2.07.04.24	de impermeabilização total ou parcial do tabuleiro	m2
<b>2.07.05.00</b>	<b>Restabelecimento ou Reconstrução</b>	
2.07.05.01	de elementos em alvenaria de pedra por substituição de blocos, incluindo escoramento provisório e desmonte	m2
<b>2.07.06.00</b>	<b>Pintura</b>	
2.07.06.02	de superfície metálica com decapagem	m2
2.07.06.06	de superfície de betão, geral	m2
2.07.06.07	de superfície rebocada ou equivalente, geral	m2
2.07.06.08	ou protecção de superfície de madeira com produto adequado	m2
<b>2.07.07.00</b>	<b>Preenchimento ou Selagem</b>	
2.07.07.01	dos furos de esticadores da cofragem	un.
2.07.07.02	de juntas de dilatação ou construção entre elementos de betão, com mástique	m
2.07.07.03	de juntas de dilatação ou construção entre elementos de betão, com cordão estanque	m
2.07.07.04	de juntas entre elementos de revestimento	m
2.07.07.06	de juntas de alvenaria, generalizado	m2
2.07.07.07	por injeção de fendas ou fissuras, no betão	m
2.07.07.08	superficial de juntas de fendas ou fissuras, no betão	m
<b>2.07.10.00</b>	<b>Execução</b>	
2.07.10.01	de pendente para drenagem de superfícies horizontais	m2

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

1 Alvenarias	4 Betão - Má concepção/Execução	9 Guarda-Corpos e Guardas de Segurança	13 Outros
1.1 Abertura de juntas entre elementos de alvenaria	4.1 Chochos ou "vespeiros"	9.1 Deformação de guarda-corpos	13.1 Ausência de chapa cobre-junta
1.2 Fendilhação das pedras das molduras em arcos	4.2 Juntas de construção mal executadas	9.2 Descaque do betão em amarrações de Guardas	13.2 Chapa cobre-junta inadequada
1.3 Fendas longitudinais no alinhamento dos limpanos	4.3 Falta de estanquidade - juntas de construção	9.3 Deformação de perfil horizontal em Guardas	13.3 Dimensão inadequada da chapa cobre-junta
1.4 Fendas transversais no intradorso de arcos	4.4 Armaduras expostas por falta de recobrimento	9.4 Quebra de perfil New-Jersey	13.4 Ausência de meios de acesso para inspeção
1.5 Fendas verticais nos limpanos	4.5 Fissuração transversal	9.5 Elemento ausente	13.5 Ocupação indevida
1.6 Desmaior/fissuração de pedras	4.6 Fissuração diagonal	9.6 Selagem danificada ou ausente	13.6 Ausência de cadeado em porões
1.7 Deformação de paramentos de alvenaria	4.7 Fissuração longitudinal	9.7 Possibilidade de entrada de animais	13.7 Dimensão insuficiente da vedação
1.8 Deformação de arco de alvenaria	4.8 Fissuração em malha (reacções internas no betão)	10 Pavimento	13.8 Deficiência na vedação envolvente à obra de arte
1.9 Infiltração sob elementos de alvenaria	4.9 Deformação de tabuleiro em betão armado	10.1 Ausência de pavimentação	13.9 Exposição de fios eléctricos
1.10 Manchas de humidade por infiltração de água	4.10 Desaparecimento entre elementos de betão	10.2 Fendilhação em malha/Desagregação do pavimento	13.10 Abertura na interface de elementos de revestimento
2 Elementos Metálicos	5 Reboco	10.3 Deficiências da textura superficial do pavimento	13.11 Passagem de água entre juntas construtivas
2.1 Deformação de elementos metálicos	5.1 Fendilhação do reboco (retração)	10.4 Fenda em remate da camada de transição	13.12 Vedação danificada
2.2 Fixações - Ausência	5.2 Empolamento do reboco-humidade/falta de aderência	10.5 Desnível entre camada de transição e pavimento	13.13 Desloque de mosaico
2.3 Fixações - Falta de aperto	5.3 Descaque do reboco-humidade/falta de aderência	10.6 Fendas isoladas no pavimento	13.14 Degradação de elementos de madeira
2.4 Fixações - Elementos danificados ou inadequados	5.4 Manchas de humidade na superfície de reboco	10.7 Assentamento/Deformação do pavimento	13.15 Deficiências ou danos em muro de gabões
2.5 Compimento insuficiente	5.5 Superfície de reboco com eflorescências calcárias	10.8 Buracos no pavimento	13.16 Barreira anti-encastamento danificada
2.6 Ausência de apoio	5.6 Superfície de reboco com marcas de corrosão	10.9 Formação de rodéas no pavimento	13.17 Acumulação de sujidade/sedimentos/debridos
2.7 Danos em elemento	6 Fundações	11 Drenagem	13.18 Objectos inseridos em elementos estruturais
2.8 Exposição de chumbadouros	6.1 Erosão junto à base de muros, encontros ou pilares	11.1 Entupimento de elementos de drenagem	13.19 Presença de resíduos construtivos
2.9 Corrosão superficial	6.2 Erosão do leito a montante/jusante de soleira	11.2 Falta de estanquidade - remate tubo drenagem/betão	
2.10 Corrosão com delaminação/perda de secção	6.3 Erosão do soleira de fundo	11.3 Ausência de tubos de queda/gargues	
2.11 Fixações - Corrosão em elementos de fixação	6.4 Rotação/assentamento de muro de suporte	11.4 Danos em tubagem de drenagem	
2.12 Pintura - Desgaste	6.5 Rotação/assentamento de encastro	11.5 Ausência de tubagem de drenagem	
2.13 Corrosão em elementos de pré-estriço	6.6 Assentamento de pilar	11.6 Ausência de caixas de drenagem	
2.14 Pintura - Descasque	7 Taludes	11.7 Danos em caixas de drenagem	
2.15 Encurvadura de perfis metálicos	7.1 Erosão/Revivimento de talude	11.8 Funcionamento deficiente	
2.16 Ratura de rebites	7.2 Assentamento de talude	11.9 Infra-escavação de órgãos de drenagem	
2.17 Ratura ou fissuração de perfis metálicos	7.3 Assentamento de talude revestido	11.10 Ausência de grelhas	
3 Betão - Durabilidade	7.4 Escorregamento de talude	11.11 Ausência de tampa	
3.1 Descasques com exposição de armaduras corroidas	7.5 Cavidade(s) no alero no tardoz da asa	11.12 Dimensão insuficiente	
3.2 Delimitação da camada de recobrimento por corrosão	7.6 Exposição de contrafortes em muros de ala	11.13 Pendente insuficiente	
3.3 Descasques no betão sem exposição de armaduras	7.7 Cavidade(s) no alero sob a laje de transição	11.14 Presença de vegetação em elemento de drenagem	
3.4 Descasques no betão com exposição de armaduras	7.8 Cavidades	11.15 Acumulação de água	
3.5 Descasques no betão com sectionamento de armaduras	7.9 Fendas	12 Juntas de Dilação	
3.6 Degradação do betão devido ao fogo	7.10 Perfil inadequado	12.1 Módulos - Corrosão em elemento metálico	
3.7 Manchas de humidade	7.11 Presença de tubagem de terceiros	12.2 Módulos - Elemento partido ou danificado	
3.8 Manchas de humidade com eflorescências calcárias	7.12 Vegetação	12.3 Módulos - Degradação do neoprene (rasgos/desgaste)	
3.9 Manchas de humidade com marcas de corrosão	7.13 Vegetação de grande porte	12.4 Módulos - Desgaste superficial do neoprene	
3.10 Manchas de escorrência	8 Aparelhos de Apoio	12.5 Camada de transição - Fissuração/Desagregação	
3.11 Grafitis/canazes	8.1 Teflon danificado/descolado/desocado	12.6 Ausência de Junta de Dilação	
3.12 Exurgências	8.2 Dispositivo inadequado	12.7 Camada de transição - Desgaste/Desnível	
3.13 Ausência ou degradação da selagem entre peças	8.3 Neoprene - Bloco deslocado	12.8 Falta de selagem das fixações de Juntas	
3.14 Índices de recobrimento insuficiente	8.4 Chapas de posicionamento por retirar	12.9 Módulos - Rasgos por deslocamento excessivo	
	8.5 Deslocamento excessivo em aparelhos apoio móveis	12.10 Módulos - Desnível entre elementos	
	8.6 Plinto fissurado		
	8.7 Plinto partido		
	8.8 Neoprene - Deformação/Emagamento		
	8.9 Neoprene - Degradação/Fendilhação		

Tabuleiro		Unidade
<b>3.07.01.00</b>	<b>Limpeza</b>	
3.07.01.01	de superfícies horizontais e verticais	m2
<b>3.07.02.00</b>	<b>Substituição ou colocação</b>	
3.07.02.01	de calços ou objectos inseridos em juntas ou entre elementos	un.
3.07.02.02	de pregos de cofragem ou varões	un.
<b>3.07.03.00</b>	<b>Reparação</b>	
3.07.03.02	superficial do betão (<30mm) removendo o betão degradado, limpando e protegendo armaduras	m2
3.07.03.03	do betão em profundidade (>30mm) removendo o betão degradado, limpando e substituindo ou reforçando as armaduras, aplicando argamassa não retráctil	m2
3.07.03.04	do betão em profundidade (>30mm) removendo o betão degradado, limpando e substituindo ou reforçando as armaduras, aplicando betão projectado	m2
3.07.03.05	do betão em profundidade (>30mm) removendo o betão degradado, limpando e substituindo ou reforçando as armaduras, aplicando betão moldado "in situ"	m2
3.07.03.07	de revestimento em reboco, generalizada	m2
3.07.03.21	de pavimento antiderrapante	m2
<b>3.07.04.00</b>	<b>Substituição ou Colocação</b>	
3.07.04.23	de pingadeira em tabuleiros	m
3.07.04.24	de impermeabilização total ou parcial do tabuleiro	m2
3.07.04.72	de rebites em aço	un.
<b>3.07.05.00</b>	<b>Restabelecimento ou Reconstrução</b>	
3.07.05.01	de elementos em alvenaria de pedra por substituição de blocos, incluindo escoramento provisório e desmonte	m2
<b>3.07.06.00</b>	<b>Pintura</b>	
3.07.06.02	de superfície metálica com decapagem	m2
3.07.06.06	de superfície de betão, geral	m2
3.07.06.07	de superfície rebocada ou equivalente, geral	m2
3.07.06.08	ou protecção de superfície de madeira com produto adequado	m2
<b>3.07.07.00</b>	<b>Preenchimento ou Selagem</b>	
3.07.07.02	de juntas de dilatação ou construção entre elementos de betão, com mástique	m
3.07.07.03	de juntas de dilatação ou construção entre elementos de betão, com cordão estanque	m
3.07.07.04	de juntas entre elementos de revestimento	m
3.07.07.06	de juntas de alvenaria, generalizado	m2
3.07.07.07	por injeção de fendas ou fissuras, no betão	m
3.07.07.08	superficial de juntas de fendas ou fissuras, no betão	m





ANEXO II – LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO COMPLETO DA SUPERFÍCIE INTERIOR DA VIGA ESQUERDA DO VÃO

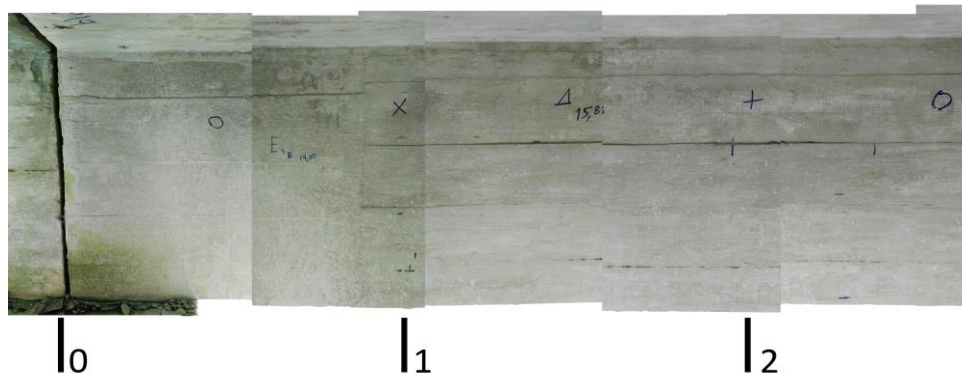


Figura 102-Foto da viga esquerda entre os 0 e os 2,5 metros

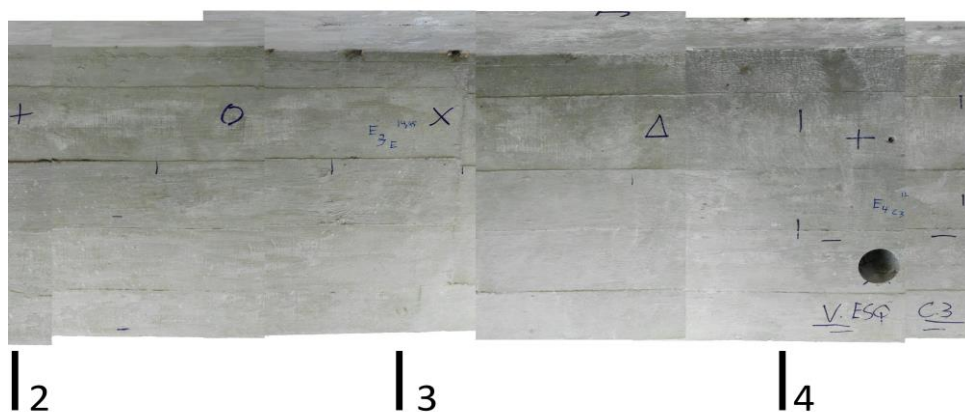


Figura 103-Foto da viga esquerda entre os 2 e 4,5 metros

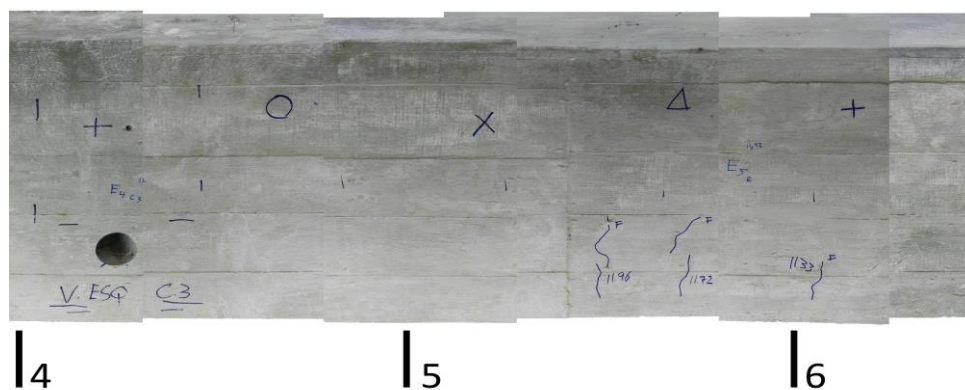


Figura 104-Foto da viga esquerda entre os 4 e 6,5 metros

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

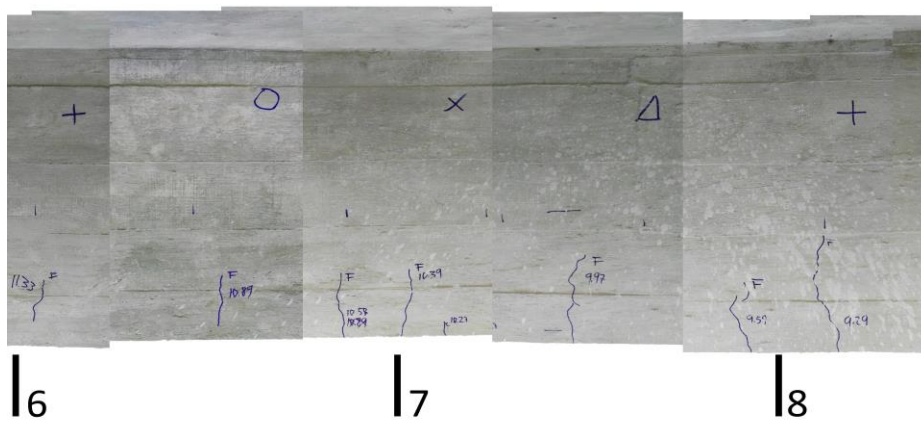


Figura 105-Foto da viga esquerda entre os 6 e 8,5 metros

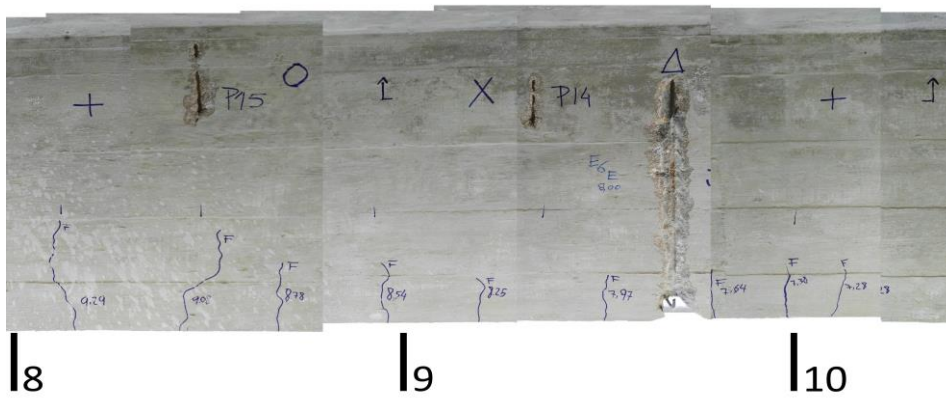


Figura 106-Foto da viga esquerda entre os 8 e 10,5 metros

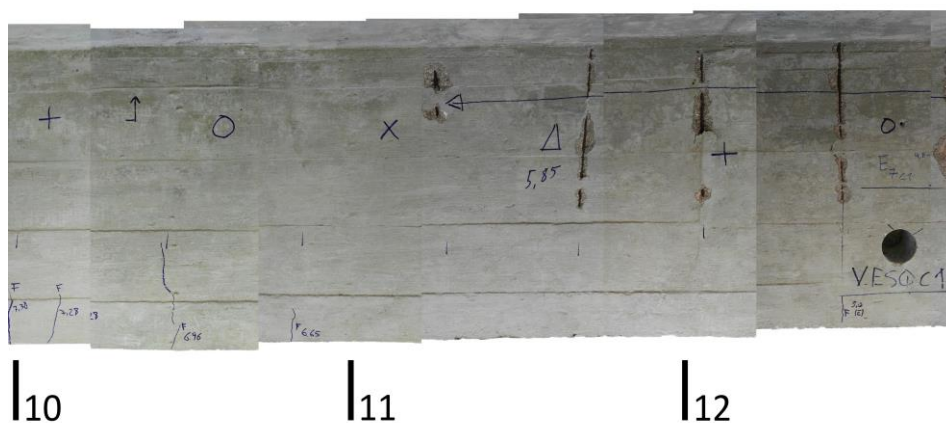


Figura 107-Foto da viga esquerda entre os 10 e 12,5 metros

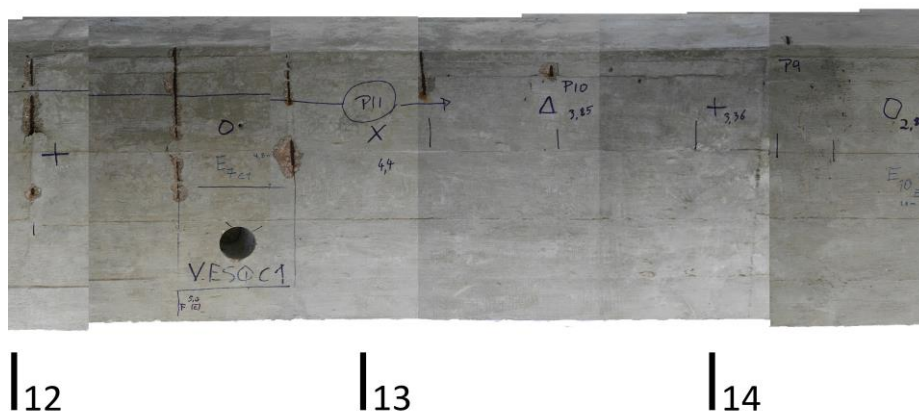


Figura 108-Foto da viga esquerda entre os 12 e 14,5 metros

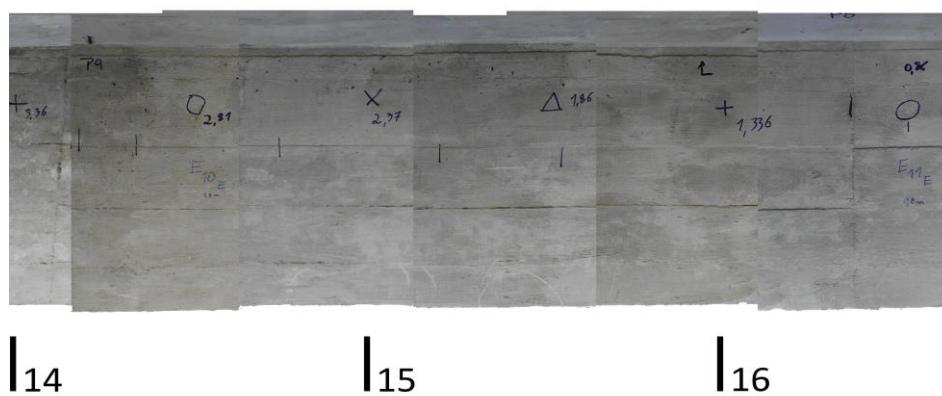


Figura 109-Foto da viga esquerda entre os 14 e 16,5 metros

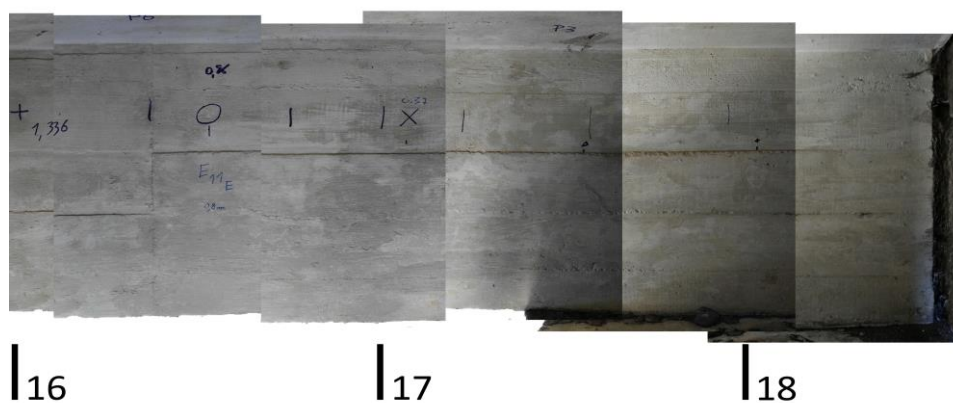


Figura 110-Foto da viga esquerda entre os 16 e 18,5 metros



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

## ANEXO III – REGRAS DE MODELAÇÃO MODELO BIM – INSPEÇÃO E GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM OBRAS DE ARTE DE BETÃO ARMADO

### Obras de Arte Betão Armado

### Regras de modelação modelo BIM – Inspeção e Gestão da Manutenção em Obras de Arte de Betão Armado

#### Estrutura da Obra de Arte de Betão Armado

##### Conceitos gerais de modelação

- Modelação deverá permitir a introdução de informação relativa as inspeções realizadas numa ponte.
- Grau de detalhe geométrico necessário para a uma boa prática de gestão da manutenção perante a inspeção realizada numa ponte.
- A modelação geométrica deverá corresponder ao projeto estrutural original sem imperfeições. Se existir um ângulo de desvio superior a 5°, então modelar a geometria real do elemento estrutural com imperfeição.
- A modelação da ponte terá que ser feita por criação dos diversos componentes de forma individual.
- A criação do modelo BIM tem que ser realizada de forma a facilitar o processo ao inspetor e aproximarmos no máximo da realidade.
- Modelar os elementos com a família mais apropriada da biblioteca do programa. Caso não exista o elemento é necessário o criar/alterar uma família de elementos para obter um novo. Novas famílias devem ser identificadas com o tipo correto, respeitando a classificação *Omniclass*.
- Atribuir uma referência única a cada elemento.
- Modelar por níveis de altura. Os elementos que se desenvolvem no mesmo alinhamento devem ser modelados como elementos individuais.
- Criar planos de referência correspondentes aos diferentes níveis existentes.
- Modelar a localização dos elementos com precisão.
- Modelar de forma que não existam sobreposições que dupliquem quantidades. Por exemplo, entre os pilares que suportam a laje deve existir um afastamento superior à espessura de forma a que não exista sobreposições.

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

## Topografia

- Modelar as superfícies topográficas. É possível importar uma lista de pontos com coordenadas e criar a superfície no programa.

## Sapatas

- Modelar com o elemento da biblioteca apropriado. No caso de não existir um elemento da biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Modelar com a classificação e o tipo de família adequada.
- Modelar com precisão em termos de geometria e localização de modo a que sejam evitadas colisões com outros elementos estruturais.
- Modelar por níveis.
- O ponto inicial de desenvolvimento terá que partir do nível inferior da base definida da sapata de fundação e irá terminar no nível inferior do pilar.
- Modelar de forma a que não existem sobreposições que dupliquem quantidades.

## Estacas e maciços de encabeçamento

- Modelar com o elemento da biblioteca apropriado. No caso de não existir um elemento da biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Modelar com a classificação e o tipo de família adequada.
- Modelar com precisão em termos de geometria e localização de modo a que sejam evitadas colisões com outros elementos estruturais.
- Modelar por níveis.
- Modelar de forma a que não existem sobreposições que dupliquem quantidades.
- Modelar para a localização apropriada e comprimento de acordo com o projeto de estruturas.

## Pilares

- Modelar com o elemento da biblioteca apropriado. No caso de não existir um elemento da biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Modelados com precisão em termos de geometria e localização, incluindo as ligações, armaduras e objetos incorporados.

- Modelar por níveis.
- Modelar com a classificação e o tipo de família adequada.
- Deve ter afastamento superior de modo a que não existam sobreposições com o tabuleiro ou elementos superiores.
- O ponto inicial de desenvolvimento terá que partir do nível superior da sapata de fundação e irá terminar ao nível inferior dos aparelhos de apoio caso existam, ou então, irá se desenvolver até ao nível inferior do tabuleiro.

## Muros

- Modelar com o elemento da biblioteca apropriado. No caso de não existir um elemento da biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Modelados com precisão em termos de geometria e localização, incluindo as ligações, armaduras e objetos incorporados.
- Modelar por níveis.
- Modelar com a classificação e o tipo de família adequada.
- Deve ter afastamento superior de modo a que não existam sobreposições com o tabuleiro ou elementos superiores.

## Taludes

- Modelar com o elemento da biblioteca apropriado. No caso de não existir um elemento da biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Modelados com precisão em termos de geometria e localização, incluindo as ligações, armaduras e objetos incorporados.
- Modelar por níveis.
- Modelar com a classificação e o tipo de família adequada.
- Deve ter afastamento superior de modo a que não existam sobreposições com o tabuleiro ou elementos superiores.
- Modelar como lajes inclinadas com a espessura exata.
- Modelar com precisão as inclinações entre os pontos pretendidos.

## Encontros

- Modelar com o elemento da biblioteca apropriado. No caso de não existir um elemento da biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

- Modelados com precisão em termos de geometria e localização, incluindo as ligações, armaduras e objetos incorporados.
- Modelar por níveis.
- Modelar com a classificação e o tipo de família adequada.
- Modelar de forma a que não existem sobreposições que dupliquem quantidades. Verificar interseções com muros, tabuleiro, etc.

### **Aparelhos de Apoio**

- Modelar com o elemento da biblioteca apropriado. No caso de não existir um elemento da biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Modelar com a classificação e o tipo de família adequada.
- Modelados com precisão em termos de geometria e localização, incluindo as ligações.
- Modelar por níveis.

### **Apoios intermédios**

- Modelar com o elemento da biblioteca apropriado. No caso de não existir um elemento da biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Modelados com precisão em termos de geometria e localização, incluindo as ligações, armaduras e objetos incorporados.
- Modelar por níveis.
- Modelar com a classificação e o tipo de família adequada.
- Modelar de forma a que não existem sobreposições que dupliquem quantidades.

### **Tabuleiro**

- Modelar com o elemento da biblioteca apropriado. No caso de não existir um elemento da biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Modelados com precisão em termos de geometria e localização, incluindo as ligações, armaduras e objetos incorporados.
- Modelar por níveis.
- Modelar com a classificação e o tipo de família adequada.
- Modelar a localização de forma a que o topo do tabuleiro seja coincidente com o plano de referencia associado.
- Modelar todas as aberturas

- Modelar variações de espessura.
- Modelar todas as inclinações.
- Modelar ressaltos ou rebaixos no tabuleiro.

## Cornijas

- Modelar com o elemento da biblioteca apropriado. No caso de não existir um elemento da biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Modelar com a classificação e o tipo de família adequada.
- Modelados com precisão em termos de geometria e localização, incluindo as ligações.
- Modelar com precisão as inclinações entre os pontos pretendidos.
- Modelar por níveis.

## Guarda Corpos

- Modelar com o elemento da biblioteca mais apropriado, com dimensões precisas. Caso não seja possível encontrar uma boa correspondência modelar com uma composição de elementos.
- Modelados com precisão em termos de geometria e localização.
- Modelar por níveis.
- Modelar com a classificação e o tipo de família adequada.
- Modelar ligações com betão.
- Modelar com a ferramenta apropriada do programa com os perfis de geometria correta.
- Modelar chapas de ligação com a sua respetiva geometria.
- Modelar soldaduras, parafusos e rebites com uma representação simbólica.

## Guarda de Segurança

- Modelar com o elemento da biblioteca mais apropriado, com dimensões precisas. Caso não seja possível encontrar uma boa correspondência modelar com uma composição de elementos.
- Modelados com precisão em termos de geometria e localização.
- Modelar por níveis.
- Modelar com a classificação e o tipo de família adequada.
- Modelar ligações com betão.
- Modelar com a ferramenta apropriada do programa com os perfis de geometria correta.
- Modelar chapas de ligação com a sua respetiva geometria.
- Modelar soldaduras, parafusos e rebites com uma representação simbólica.

## Passeios

- Modelar com o elemento da biblioteca mais apropriado, com dimensões precisas. Caso não seja possível encontrar uma boa correspondência modelar com uma composição de elementos.
- Modelados com precisão em termos de geometria e localização.
- Modelar com a classificação e o tipo de família adequada.
- Modelar por níveis.

## Revestimento da Via

- Modelar com o elemento da biblioteca mais apropriado, com dimensões precisas. Caso não seja possível encontrar uma boa correspondência modelar com uma composição de elementos.
- Modelar com a classificação e o tipo de família adequada.
- Modelados com precisão em termos de geometria e localização.
- Modelar com precisão as inclinações entre os pontos pretendidos.
- Modelar por níveis.

## Drenagem

- Modelar com o elemento da biblioteca apropriado. No caso de não existir um elemento da biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Modelar com a classificação e o tipo de família adequada.
- Modelados com precisão em termos de geometria e localização, incluindo as ligações.
- Modelar com precisão as inclinações entre os pontos pretendidos.
- Modelar por níveis.

## Juntas de dilatação

- Modelar com o elemento da biblioteca mais apropriado, com dimensões precisas. Caso não seja possível encontrar uma boa correspondência modelar com uma composição de elementos.
- Modelar com a classificação e o tipo de família adequada.
- Modelados com precisão em termos de geometria e localização.

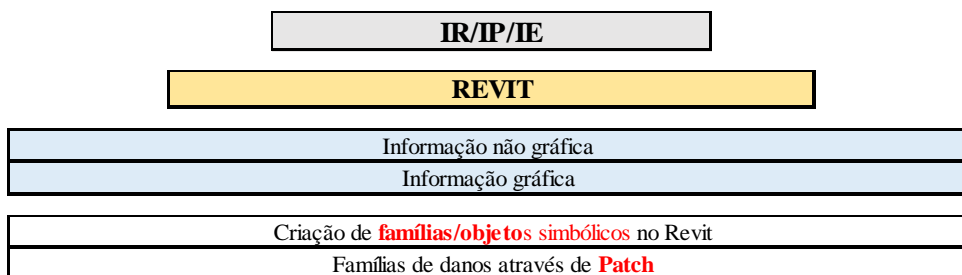
- Modelar por níveis.
- Modelar como intervalos entre elementos estruturais.
- Modelar selantes como elementos separados.



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

## ANEXO IV – INFORMAÇÃO DAS INSPEÇÕES ASSOCIADA AOS OBJETOS DE MODELO

### BIM



### Associar a informação as famílias/objetos

<b>Patch: Famílias</b>		
	Colonização biológica	<input type="checkbox"/>
	Carotes	<input type="checkbox"/>
	Janelas de inspeção	<input type="checkbox"/>
	Fendas	<input type="checkbox"/>
	Armaduras	<input type="checkbox"/>
	Etc.	<input type="checkbox"/>
<b>Nota:</b> Ver tabela de objetos perante o tipo de inspeção		

### Cada objeto pode conter a seguinte informação:

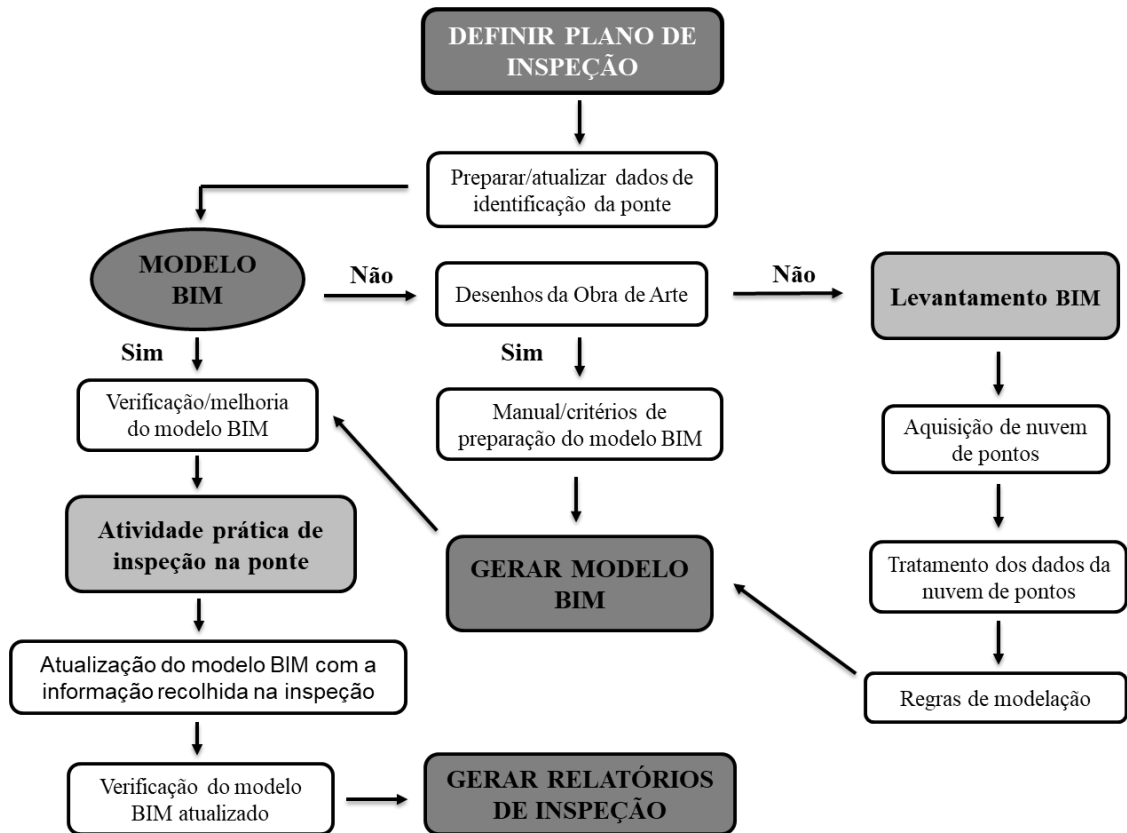
Família	Tipologia	<input type="checkbox"/>
Imagem	Manage Image	<input type="checkbox"/>
Texto informativo/Classificação	Componentes: Estado de Manutenção Anomalias: Localização Descrição Medidas de atuação/reparação	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
URL'S	<i>Link's que permitem ter acesso à certa informação</i> Fotografias: Colonização biológica Delaminação Corrosão Armadura Etc. Relatórios: Ensaios	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Dimensão	Área Volume Largura Espessura Comprimento	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Material		<input type="checkbox"/>
Data de inspeção	Fases	<input type="checkbox"/>
Posicionamento/localização		<input type="checkbox"/>

### Outra informação recolhida durante as inspeções:

Fotogrametria	<input type="checkbox"/>
Nuvem de pontos	<input type="checkbox"/>
Georadar	<input type="checkbox"/>

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

**ANEXO V – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE INSPEÇÃO EM MODELO BIM EM OBRAS DE ARTE DE BETÃO ARMADO**



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

## ANEXO VI – PROPOSTA NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO MODELO BIM – INSPEÇÃO E GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM OBRAS DE ARTE DE BETÃO ARMADO

### LOD Bridge

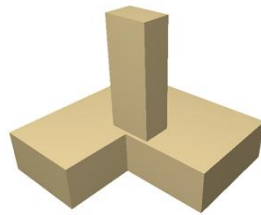
### Proposta Nível de Desenvolvimento modelo BIM – Inspeção e Gestão da Manutenção em Obras de Arte de Betão Armado

#### COMPONENTES OBRA DE ARTE DE BETÃO ARMADO

#### Sapatas

##### *LOD Bridge 300*

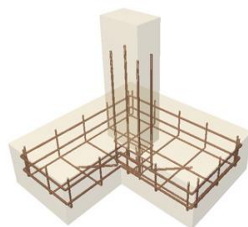
Este elemento deve incluir:



- Elemento apropriado da biblioteca. Caso não existir um elemento na biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Tamanho específico e geometria do elemento de fundação.
- Superfícies inclinadas ou depressões no chão.
- Tipo do betão do elemento estrutural.
- Posicionamento exato do elemento através da grelha estrutural definida com a orientação específica.

##### *LOD Bridge 400*

Este elemento deve incluir:

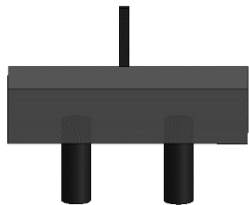


- Armaduras modeladas por tipo e forma detalhada, elementos pós-tensão e zonas de ligação.
- Espessura total que explica enquadramento e acabamento específico.

## Estacas e maciços de encabeçamento

### LOD Bridge 300

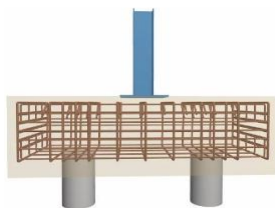
Este elemento deve incluir:



- Elemento apropriado da biblioteca. Caso não existir um elemento na biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Tamanho específico e geometria do elemento de fundação.
- Tipo do betão do elemento estrutural.
- Posicionamento exato do elemento através da grelha estrutural definida com a orientação específica.

### LOD Bridge 400

Este elemento deve incluir:



- Armaduras modeladas por tipo e forma detalhada, elementos pós-tensão e zonas de ligação.
- Espessura total que explica enquadramento e acabamento específico.

## Pilares

### LOD Bridge 300

Este elemento deve incluir:



- Elemento apropriado da biblioteca. Caso não existir um elemento na biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Tamanho específico e geometria do elemento. Representação aproximada do elemento.
- Tipo do material do elemento estrutural.
- Posicionamento exato do elemento através da grelha estrutural definida com a orientação específica.
- Variações de espessura sem simplificações relativamente à geometria real.

---

### ***LOD Bridge 400***

Este elemento deve incluir:



- Armaduras modeladas por tipo e forma detalhada, elementos pós-tensão e zonas de ligação.
- Espessura total que explica enquadramento e acabamento específico.

## **Muros**

### ***LOD Bridge 300***

Este elemento deve incluir:

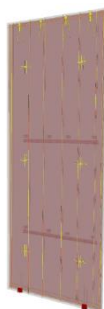


- Elemento apropriado da biblioteca. Caso não existir um elemento na biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Tamanho específico e geometria do elemento.
- Tipo do betão do elemento estrutural.
- Posicionamento exato do elemento através da grelha estrutural definida com a orientação específica.
- Variações de espessura sem simplificações relativamente à geometria real.

---

### ***LOD Bridge 400***

Este elemento deve incluir:



- Armaduras modeladas por tipo e forma detalhada, elementos pós-tensão e zonas de ligação.
- Espessura total que explica enquadramento e acabamento específico.



## Taludes

### *LOD Bridge 300*

Este elemento deve incluir:



- Elemento apropriado da biblioteca. Caso não existir um elemento na biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Tamanho específico e geometria do elemento.
- Tipo do material do elemento.
- Posicionamento exato do elemento através da grelha estrutural definida com a orientação específica.
- Inclinações precisas entre os pontos pretendidos.

---

### *LOD Bridge 400*

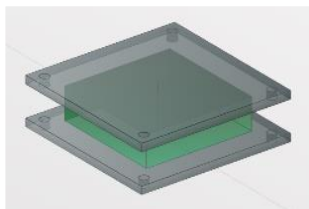
Este elemento deve incluir:

- Espessura total que explica enquadramento e acabamento específico.
- Amarrações e equipamentos detalhados que completem o elemento estrutural.

## Aparelho de Apoio

### *LOD Bridge 300*

Este elemento deve incluir:

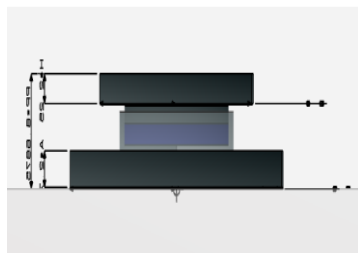


- Elemento apropriado da biblioteca. Caso não existir um elemento na biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Tamanho específico e geometria do elemento.
- Tipo do material do elemento estrutural.
- Posicionamento exato do elemento através da grelha estrutural definida com a orientação específica.
- Variações de espessura sem simplificações relativamente à geometria real.

---

### ***LOD Bridge 400***

Este elemento deve incluir:

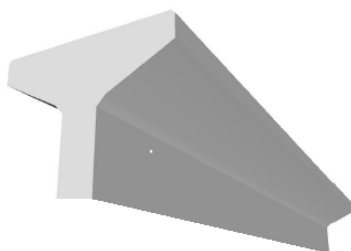


- Representação explícita do elemento com tamanho e geometria exata.
- Elementos principais de conexão. (Parafusos, tampas, solda, etc.)
- Elementos de montagem.
- Zonas de ligação.
- Espessura total que explica enquadramento e acabamento específico.

## **Apoios Intermediários**

### ***LOD Bridge 300***

Este elemento deve incluir:



- Elemento apropriado da biblioteca. Caso não existir um elemento na biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Tamanho específico e geometria do elemento.
- Tipo do betão do elemento estrutural.
- Posicionamento exato do elemento através da grelha estrutural definida com a orientação específica.
- Variações de espessura sem simplificações relativamente à geometria real.

---

### ***LOD Bridge 400***

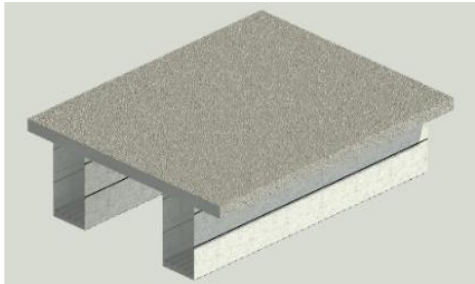
Este elemento deve incluir:

- Armaduras modeladas por tipo e forma detalhada, elementos pós-tensão e zonas de ligação.
- Espessura total que explica enquadramento e acabamento específico.

## Tabuleiro

### *LOD Bridge 300*

Este elemento deve incluir:

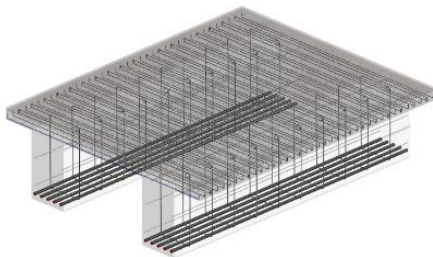


- Elemento apropriado da biblioteca. Caso não existir um elemento na biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Tamanho específico e geometria exata do elemento.
- Tipo do betão do elemento estrutural.
- Posicionamento exato do elemento através da grelha estrutural definida com a orientação específica.
- Variações de espessura sem simplificações relativamente à geometria real.
- Todas as superfícies têm inclinações precisas os pontos pretendidos.
- Penetrações para itens como o MEP.
- Principais aberturas do elemento estrutural.
- Inclinação necessária para o escoamento das águas.

---

### *LOD Bridge 400*

Este elemento deve incluir:

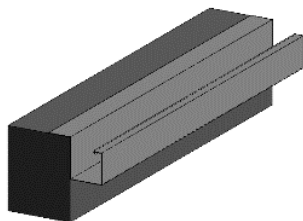


- Armaduras modeladas por tipo e forma detalhada, elementos de reforço incluindo pós-tensão e zonas de ligação.
- Espessura total que explica enquadramento e acabamento específico.
- Amarrações e equipamentos detalhados que completem o elemento estrutural.
- Tipo do betão definido por especificações (força, ar, tamanho agregado, etc.)
- Juntas de expansão.
- Componentes permanentes de formação ou escoramento.
- Varas de ancoragem

## Cornijas

### *LOD Bridge 300*

Este elemento deve incluir:



- Elemento apropriado da biblioteca. Caso não existir um elemento na biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Tamanho específico, espaçamento, forma e geometria do elemento.
- Tipo do material do elemento.
- Posicionamento exato do elemento através da grelha estrutural definida com a orientação específica.
- Inclinação necessária para o escoamento das águas.
- Elevação real e localização exata dos membros de conexão.

---

### *LOD Bridge 400*

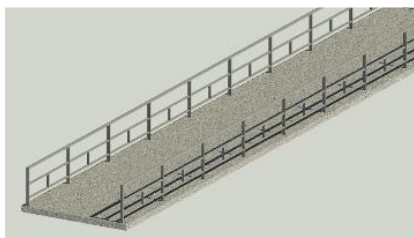
Este elemento deve incluir:

- Componentes suplementares adicionados ao modelo necessário para a fabricação e instalação no local.
- Espaçamentos e folgas necessárias para todos os suportes que são utilizados na disposição dos equipamentos.

## Guarda Corpos

### *LOD Bridge 300*

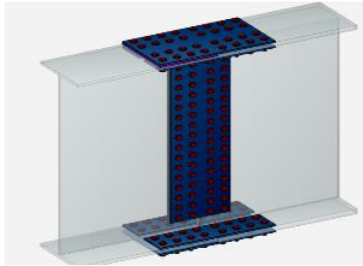
Este elemento deve incluir:



- Elemento apropriado da biblioteca. Caso não existir um elemento na biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Tamanho específico e geometria do elemento.
- Elevação real e localização exata dos membros de conexão.
- Tipo do material do elemento.
- Posicionamento exato do elemento através da grelha estrutural definida com a orientação específica.

### ***LOD Bridge 400***

Este elemento deve incluir:

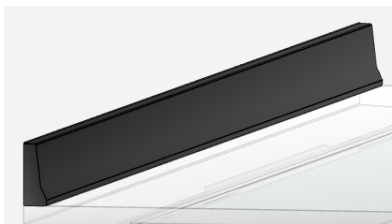


- Elevação real e localização das conexões dos membros.
- Elementos principais de conexão aplicado as conexões de aço estruturais.
- Reforço do elemento de estrutura de aço.
- Elementos de montagem.
- Parafusos, solda, etc.

## **Guarda de Segurança**

### ***LOD Bridge 300***

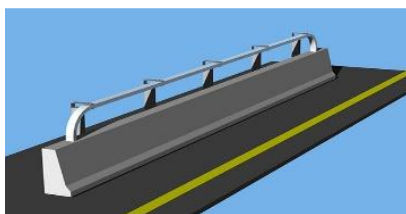
Este elemento deve incluir:



- Elemento apropriado da biblioteca. Caso não existir um elemento na biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Tamanho específico e geometria do elemento.
- Elevação real e localização exata dos membros de conexão.
- Tipo do material do elemento.
- Posicionamento exato do elemento através da grelha estrutural definida com a orientação específica.

### ***LOD Bridge 400***

Este elemento deve incluir:

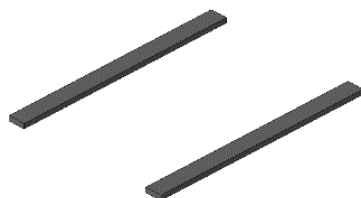


- Elevação real e localização das conexões dos membros.
- Elementos principais de conexão aplicado as conexões de aço estruturais.
- Reforço do elemento de estrutura de aço.
- Elementos de montagem.
- Parafusos, solda, etc.

## Passeios

### *LOD Bridge 300*

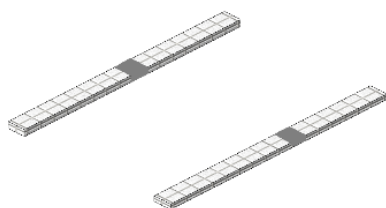
Este elemento deve incluir:



- Elemento apropriado da biblioteca. Caso não existir um elemento na biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Tamanho específico e geometria do elemento.
- Tipo do material do elemento estrutural.
- Posicionamento exato do elemento através da grelha estrutural definida com a orientação específica.
- Variações de espessura sem simplificações relativamente à geometria real.

### *LOD Bridge 400*

Este elemento deve incluir:



- Elevação real e localização das conexões dos membros.
- Elementos principais de conexão.

## Revestimento da Via

### *LOD Bridge 300*

Este elemento deve incluir:



- Elemento apropriado da biblioteca. Caso não existir um elemento na biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Tamanho específico e geometria do elemento.
- Tipo do material do elemento estrutural.
- Posicionamento exato do elemento através da grelha estrutural definida com a orientação específica.
- Variações de espessura sem simplificações relativamente à geometria real.
- Inclinação necessária para o escoamento das águas.

### ***LOD Bridge 400***

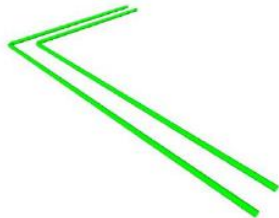
Este elemento deve incluir:

- Elementos principais de conexão.
- Características mecânicas do elemento embutidas no elemento.

## **Drenagem**

### ***LOD Bridge 300***

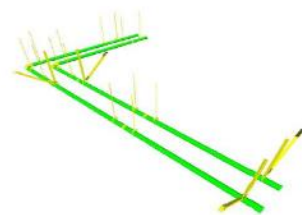
Este elemento deve incluir:



- Elemento apropriado da biblioteca. Caso não existir um elemento na biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Tamanho específico, espaçamento, forma e geometria do elemento.
- Tipo do material do elemento.
- Posicionamento exato do elemento através da grelha estrutural definida com a orientação específica.
- Inclinação necessária para o escoamento das águas.
- Elevação real e localização exata dos membros de conexão.

### ***LOD Bridge 400***

Este elemento deve incluir:

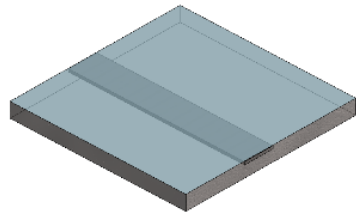


- Componentes suplementares adicionados ao modelo necessário para a fabricação e instalação no local.
- Válvulas, acessórios e conexões.
- Espaçamentos e folgas necessárias

## Juntas de dilatação

### *LOD Bridge 300*

Este elemento deve incluir:

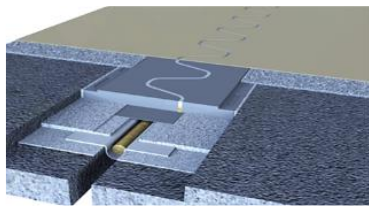


- Elemento apropriado da biblioteca. Caso não existir um elemento na biblioteca que satisfaça as necessidades, estes elementos podem ser modelados como objetos combinados.
- Tamanho específico e geometria do elemento.
- Tipo do material do elemento estrutural.
- Posicionamento exato do elemento através da grelha estrutural definida com a orientação específica.

---

### *LOD Bridge 400*

Este elemento deve incluir:



- Representação explícita da geometria da junta de dilatação.
- Características mecânicas do elemento estrutural.
- Elevação real e localização das conexões dos membros.
- Elementos principais de conexão.



Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto

## ANEXO VII – INFORMAÇÃO QUE PODE VIR A SER RECOLHIDA DURANTE UMA INSPEÇÃO

		IR - Inspeção de Rotina	IP - Inspeção Principal	IE - Inspeção Especial
<b>Danos</b>	Danificação do betão	X	X	
	Colonização biológica	X	X	
	Humidade	X	X	
	Resíduos construtivos	X	X	
	Sedimentos	X	X	
	Vegetação	X	X	
	Fissuração $\geq 3\text{mm}$		X	X
	Erosão	X	X	X
	Corrosão	X	X	X
<b>Observações</b>	Assentamentos fundações		X	X
	Rotação pilares		X	X
	Carbonatação do betão		X	X
	Empenamento		X	X
<b>Amostras</b>	Carote			X
	Janela de inspeção			X
	Armadura			X
<b>Técnicas</b>	Laser Scanning		X	X
	Fotogrametria		X	X
	Georadar			X
	Foto 360°	X	X	X

Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de Obras de Arte em betão armado:  
proposta de metodologia e aplicação piloto





