

## **INSPECÇÃO E AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PONTES** **Algumas contribuições da FEUP**



**ANÍBAL COSTA**  
Prof. Associado  
FEUP  
Porto



**ANTÓNIO ARÊDE**  
Prof. Auxiliar  
FEUP  
Porto

### **SUMÁRIO**

A presente comunicação tem como objectivo a apresentação de algumas contribuições do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (DEC-FEUP) no domínio da inspeção e da avaliação estrutural de pontes. Discutem-se algumas questões relativas a linguagem e conceitos neste domínio e referem-se casos de fichas de inspeção que têm sido propostas e usadas. Apresenta-se sumariamente alguns exemplos de trabalhos inspeção e avaliação estrutural que têm sido realizados no DEC-FEUP.

### **1. INTRODUÇÃO**

A durabilidade e a segurança das obras de arte é hoje em dia um assunto de indiscutível actualidade e importância. Na sequência de acidentes de maior ou menor gravidade, que sucedem um pouco por todo o mundo e em pontes de qualquer tipo, a comunidade técnica, os autarcas, os gestores públicos, o poder político e a sociedade em geral, tomam consciência da real importância destas obras e do seu impacto no quotidiano da sociedade.

É neste contexto que a Universidade deve desempenhar um papel importante, colaborando, sempre que necessário, na procura de novas estratégias nos domínios da investigação, do projecto e da execução de obras, com o intuito de contribuir para que, no futuro, tão infelizes ocorrências possam ser mais controladas ou mesmo evitadas.

Assim, pretende-se com este documento apresentar descrições sumárias de alguns trabalhos de inspecção e de avaliação estrutural que têm sido realizados no Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (DEC-FEUP). Tais trabalhos consistem em estudos de casos de obra efectuados por solicitação do exterior, envolvendo tarefas de inspecção, de verificação da segurança e de reforço de pontes existentes. O objectivo principal é, portanto, transmitir o resultado de alguma experiência do DEC-FEUP neste domínio, procurando fazer um esforço de sistematização e de clarificação de linguagem, conceitos e procedimentos.

## 2. REFLEXÕES GERAIS. CONCEITOS E LINGUAGEM

Um dos principais problemas em qualquer tipo de actividade é o da fixação de terminologia própria, que permita, duma forma clara e inequívoca, a troca de informação e ideias entre todos quantos se dedicam a essa actividade. No âmbito da inspecção de pontes, os intervenientes são frequentemente confrontados com termos como *inspecção*, *conservação*, *manutenção*, *reparação*, *reabilitação*, *avaliação*, *diagnóstico*, etc. e também com termos associados tais como *plano de inspecção*, *técnicas de inspecção*, *campanha de inspecção*, *relatório de inspecção*, *inspecção de rotina*, *inspecção preliminar*, etc.

*Inspeção* significa o acto de ver, de examinar, de observar com cuidado e o resultado desse acto deverá ser um *relatório* que é uma *exposição escrita e minuciosa* dessa inspecção [1].

Assim, o acto de inspeccionar, ou de observar com cuidado, obriga a que sejam percorridos, de uma forma cuidadosa, todos os elementos estruturais e não estruturais que compõem uma dada ponte. A descrição desta inspecção será então um documento fundamental para se compreender e poder avaliar o estado da ponte.

O relatório de inspecção, descrevendo de uma forma detalhada o que foi observado na ponte e nos seus diversos elementos, permitirá fazer o diagnóstico sobre o estado da ponte, já que o *diagnóstico* significa o *conhecimento de alguma coisa através de certos sintomas* [1]. Nestes casos, normalmente os sintomas são os danos nos diversos elementos estruturais, representando o *dano* o *estrago* ou *deterioração desses elementos*. A *inspeção* de pontes permitirá, portanto, a elaboração de um *relatório* que conduzirá ao *diagnóstico* sobre o estado da ponte.

Por outro lado, a *manutenção* de uma ponte significa *acção ou efeito de manter* ou *conservação*, *segurança*, entendendo-se a *conservação* como a *acção ou efeito de conservar* e por sua vez o termo *conservar* significa *impedir que acabe ou se deteriore*, ou *manter alguma coisa em bom estado* ou *não deixar estragar* [1].

Resulta assim que a *conservação* de uma ponte, que significa mantê-la em bom estado e tentar evitar a sua degradação, exige boa *manutenção* que por sua vez requer *inspecções* regulares, com elaboração de *relatórios* e com *diagnósticos* sobre o seu estado.

Outro termo também frequentemente referido é o da *avaliação estrutural* que, neste contexto, deve ser entendido como o *acto de determinar em termos estruturais quanto vale a segurança*

*da ponte*. Tal avaliação pressupõe, para além da inspeção, relatório e diagnóstico, uma campanha de ensaios físicos com um grau de detalhe que dependerá da finalidade dessa avaliação e do tipo e idade da ponte, e de um conjunto de cálculos numéricos que permitam estimar a segurança estrutural da mesma.

Desde o simples acto de inspeccionar até à tarefa de realização de complexas análises experimentais ou numéricas, deve estar sempre subjacente o juízo sobre a operacionalidade da obra de arte num determinado *tempo de vida útil* e sobre o *nível de segurança* que se deve manter dentro dum intervalo de valores aceitáveis.

O conceito de *tempo de vida útil* assume assim particular importância, estando estreitamente relacionado com o horizonte temporal do ser humano que ronda os setenta a oitenta anos. Os problemas de uma dada edificação devem portanto ser equacionados nesta janela temporal, compreendendo-se neste contexto que os casos correntes sejam dimensionados para uma vida útil de 50 anos que pressupõe a determinadas exigências ao nível dos materiais, das acções, da durabilidade, etc. No caso das pontes este tempo de vida útil é normalmente duplicado, embora este procedimento não seja explícito em termos regulamentares. A título de exemplo refira-se que no Reino Unido a duração contratual duma obra de arte é fixada em 120 anos [2].

Por outro lado o *nível de segurança* encontra-se associado a uma dada *probabilidade de ruína* (naquele tempo de vida útil) que, no caso das edificações correntes, é normalmente aceite em torno de  $10^{-5}$  e, no caso das pontes especiais é mais exigente, reduzindo-se mesmo a valores da ordem de  $10^{-7}$  [3].

Fica patente, portanto, que no caso das pontes o tempo de vida útil e a probabilidade de ruína assumem valores diferentes do usual, obrigando a que neste tipo de obras sejam tomadas medidas exigências capazes de garantir um adequado e seguro desempenho das funções para que as pontes são concebidas.

Acresce ainda que, muitas pontes existentes constituem património português e mundial, não sendo portanto propriedade exclusiva das gerações que as usufruem numa determinada época. O dever de as preservar, tão bem quanto possível, para as gerações futuras [4], de quem são também pertença, é motivo adicional para uma atenção redobrada ao *tempo de vida útil* e ao *nível de segurança* que deve ser garantido.

### 3. RELATÓRIOS DE INSPECÇÃO

#### 3.1 Inspeções de rotina

A elaboração de um relatório de *inspeções de tipo regular ou de rotina* por parte de uma entidade oficial (BRISA, REFER, ICERR, etc.) deve seguir determinado tipo de procedimentos, dado constituir um processo normal dentro deste género de instituições e passível do estabelecimento de regras que os inspectores deverão respeitar. Por exemplo, o “*Manual sobre Pontes*” elaborado pela Direcção de Conservação – Divisão de Obras de Arte e Construção Civil [5] dos Caminhos de Ferro Portugueses (CP), actual REFER, apresenta um

capítulo denominado “Regras a seguir para fazer a revista geral a uma ponte ou pontão” onde se exemplifica que a “revista deve ser metódica, minuciosa e completa de forma a que nenhuma peça, por mais insignificante que pareça, deixe de ser examinada e se verifique se se encontra em boas condições de conservação e solidez”, estabelecendo em seguida uma série de regras que deverão ser respeitadas.

Na generalidade dos países, os organismos de estado possuem manuais de inspecção deste tipo, havendo actualmente alguns deles que já dispõem de sistemas informáticos que permitem acompanhar o comportamento das obras ao longo do tempo e intervir atempadamente em cada uma delas. Do mesmo modo, existe uma tipificação das anomalias habituais neste género de estruturas, que conduz à elaboração de fichas onde é definido o tipo de anomalia usual em cada tipo de ponte, as suas causas prováveis e as medidas de reparação aconselhadas.

Tais fichas servem geralmente de apoio às inspecções de rotina a efectuar pelos organismos oficiais, apresentando-se nas Figuras 1 e 2 dois exemplos de fichas, uma dos Caminhos de Ferro Portugueses, ex-CP, (Figura 1) e outra da ex-JAE (Figura 2).

CP PONTES		FICHA DE CADASTRO		
LINHA:	RAMAL: <i>Beira Leste</i> KM <sup>o</sup> <i>1 2 3 4 5 6 7 8 9 0</i>			
NOME:	REVISÃO FEITA EM: <i>14/09/89</i>			
	POR: <i>A. E. F. F. F.</i>			
TIPO:	TAB. SUPERIOR <input checked="" type="checkbox"/>	VIGAS: GREY <input type="checkbox"/> h=.....	RESGARD <input type="checkbox"/>	
	TAB. MÉDIO <input type="checkbox"/>		ÚNICA <input checked="" type="checkbox"/>	
	TAB. INFERIOR <input type="checkbox"/>		ALMA CHEIA <input checked="" type="checkbox"/> h=.....	ASC. <input type="checkbox"/>
	SUB. CARRIS <input type="checkbox"/>		RÓTULA <input type="checkbox"/> h=.....	DESC. <input type="checkbox"/>
PERFIL:	DECLIVE <input type="checkbox"/>	RECTA <input checked="" type="checkbox"/>	EM RECTA <input checked="" type="checkbox"/>	
	PATAMAR <input type="checkbox"/>	VIÉS ESQ. <input type="checkbox"/>	EM CURVA <input type="checkbox"/>	
	RAMPA <input type="checkbox"/>	VIÉS DIR. <input type="checkbox"/>	DIR. <input type="checkbox"/>	
LARGURA: ENTRE EIXOS <i>6000</i>		COMPRIM. TOTAL: <i>2500</i>		
N.º TRAMOS:	IND. <i>1</i>	V. TEÓRICOS: PARCIAIS:.....		
	CONT. <i>1</i>	TOTAIS: <i>920</i>		
ENCONTROS:	ALVENARIA <input type="checkbox"/>	PILARES: <i>2</i>	TUBULÕES <input type="checkbox"/>	
	GRANITO <input checked="" type="checkbox"/>		METÁLICOS <input type="checkbox"/>	
	BETÃO ARMADO <input type="checkbox"/>		ALVENARIA <input checked="" type="checkbox"/>	GRANITO <input type="checkbox"/>
		B. ARMADO <input type="checkbox"/>		
GUARDA-BALASTRO:	SISTEMA ANTIGO <input type="checkbox"/>	ALTURA DO BANZO INFERIOR: <input type="checkbox"/> Á AGUA.....		
	SISTEMA ANTIGO FIXAÇÃO <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> AO SOLO.....		
	SISTEMA NOVO <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> À ESTRADA.....		
PASSEIOS:	EXTERIORES:	DIR. <input type="checkbox"/>	M <input type="checkbox"/> P1 <input type="checkbox"/> P2 <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> P3 <input type="checkbox"/>	
		ESQ. <input type="checkbox"/>		
	INTERIORES:	DIR. <input type="checkbox"/>		M-MADEIRA
		ESQ. <input type="checkbox"/>		P1-PLACAS TIPO 1
	VISITA:	DIR. <input type="checkbox"/>		P2-PLACAS TIPO 2
		ESQ. <input type="checkbox"/>		C-CHAPA METÁLICA
			P3-DESCREVER	
SEM FIXAÇÃO <input type="checkbox"/>				
TREFOND NAS LONGARINAS <input checked="" type="checkbox"/>				
PARAFUSO " " <input type="checkbox"/>				
ESQUADRO SIMPLES <input type="checkbox"/>				
ESQUADRO DUPLO E TREFOND <input type="checkbox"/>				
" " E PARAFUSO <input type="checkbox"/>				
" " E BARRA E GANCHOS <input type="checkbox"/>				
NO CASO DE VIÉS: GRADE <input type="checkbox"/>				
TRAV. FRAÇIONADAS <input type="checkbox"/>				
NENHUMA <input type="checkbox"/>				
TAB. BALASTRO: SIM <input type="checkbox"/>				
NÃO <input checked="" type="checkbox"/>				

CP PONTES		FICHA DE CADASTRO	
LINHA:	RAMAL: <i>Beira Leste</i> KM <sup>o</sup> <i>1 2 3 4 5 6 7 8 9 0</i>		
NOME:	REVISÃO FEITA EM: <i>14/09/89</i>		
	POR: <i>A. E. F. F. F.</i>		
TRAVESSAS:	RECTANGULARES <input type="checkbox"/>	ALTURA <i>100</i>	CARRIL: MATERIAL DE: <i>Acilado</i>
	TRAPEZOIDAIS <input type="checkbox"/>	LARGURA <i>100</i>	
	BETÃO <input type="checkbox"/>	AFASTADAS DE <i>100</i>	
JUNIAS POR SOLDAR NA PONTE: SIM <input type="checkbox"/>		QUANTIDADE:.....	
NÃO <input checked="" type="checkbox"/>			
AFROUXAMENTO DE <i>10</i> KM/H		NÃO TEM AFROUXAMENTO <input type="checkbox"/>	
VELOCIDADE DA VIA: À ENTRADA <i>10</i> KM/H		À SAÍDA <i>10</i> KM/H	
		LARGURA SOLDADA AO CARRIL DA PONTE: SIM <input type="checkbox"/>	
		NÃO <input type="checkbox"/>	
APARELHOS DE DILATAÇÃO DE VIA:		DISTÂNCIA À PONTE:.....	
À ENTRADA (ANTES): UNIDIR. <input type="checkbox"/>		LARGURA SOLDADA AO CARRIL DA PONTE: SIM <input type="checkbox"/>	
		NÃO <input type="checkbox"/>	
À SAÍDA (DEPOIS): UNIDIR. <input type="checkbox"/>		DISTÂNCIA À PONTE:.....	
		NÃO <input type="checkbox"/>	
TIPO DE VIA:		BARRA LONGA <input checked="" type="checkbox"/>	
À ENTRADA (ANTES): BARRA LONGA <input checked="" type="checkbox"/>		JUNTAS <input type="checkbox"/>	
JUNTAS <input type="checkbox"/>		À SAÍDA (DEPOIS): BARRA LONGA <input checked="" type="checkbox"/>	
		JUNTAS <input type="checkbox"/>	
DATA DA PINTURA: GERAL <input type="checkbox"/>		<i>Não tem data da pintura</i>	
		(Inscrito no ponto)	
PARCIAL <input type="checkbox"/>		OBS:.....	
B.O.A. <input type="checkbox"/>			
REGULAR <input checked="" type="checkbox"/>			
MÁ <input type="checkbox"/>			
CANALIZAÇÕES:		ELECTRICIDADE: P <input checked="" type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/>	
		C-CONDUTAS OU CABOS: P-POSTES	
TELEFONES: P <input checked="" type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/>		OUTRAS: <input type="checkbox"/>	
CATENARIA <input type="checkbox"/>			
ORDEM DOS APARELHOS DE APOIO: <i>2000, 1000</i>			
MÓVEIS: RÓLOS <input type="checkbox"/>		COM RÓTULA <input type="checkbox"/>	
		DESILIZANTES <input checked="" type="checkbox"/>	
PENDULOS <input type="checkbox"/>		SEM RÓTULA <input type="checkbox"/>	
		NEOPRENE <input type="checkbox"/>	
FIXOS: COM RÓTULA <input type="checkbox"/>		PLACAS <input type="checkbox"/>	
		SEM RÓTULA <input type="checkbox"/>	
		NEOPRENE <input type="checkbox"/>	
TEM ACESSO POR ESTRADA: SIM <input checked="" type="checkbox"/>		TERRENO PARA ESTALEIRO: SIM <input checked="" type="checkbox"/>	
NÃO <input type="checkbox"/>		NÃO <input type="checkbox"/>	
TEM P.N. PRÓXIMA: SIM <input checked="" type="checkbox"/>		KM <sup>o</sup> .....	
		NÃO <input type="checkbox"/>	
		NOME DA ESTAÇÃO DO APEADEIRO MAIS PRÓXIMO: <i>Valença do Foz</i>	
		KM <sup>o</sup> .....	

Figura 1: Ficha de cadastro da ex-CP

<b>JAE</b>		D. S. PONTES		FICHA DE INSPECÇÃO		Nº 5	
NOME DA PONTE PONTE METÁLICA DO PINHÃO SOBRE O RIO DOURO				DISTRITO VILA REAL		DATA INSPECÇÃO 92/08/05	
						EN 323	

TIPO	TIPO DE AVARIAS	ESTADO DE CONSERVAÇÃO			OBSERVAÇÕES		
		BOM	REGULAR	MÁ			
INSPECÇÃO DE 2 EM 2 ANOS	ENCONTROS	Verticalidade e alinhamento	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
		Sistemas de drenagem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A necessitar limpeza.	
		Fissuras ou fendas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	FILARES	Fundações	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
		Sinais de erosão ou infra-escavações	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
		Diversos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A reconstruir e reparar.	
	TABULEIRO	ENCONTROS	Verticalidade e alinhamento	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
			Fissuras ou fendas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
			Fundações	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
		TABULEIRO	Sinais de erosão ou infra-escavações	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
			Diversos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
			Sistemas de drenagem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A necessitar limpeza.
Juntas de dilatação			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Flechas ou deformações			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Ocorrência em armaduras			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Fissuras ou fendas em peças de betão			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Guardas			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A reconstruir e reparar.	
Pavto. e perfil transversal a adoptar			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pav. reg.; Perfil transv. estreito.	
Contraventamentos metálicos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
ABÓBADAS	Amarralhos de aço	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A necessitar inspeção cuidada (especializada).		
	Asselo da faixa de rodagem e passeios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A necessitar limpeza.		
	Fissuras ou fendas em peças metálicas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	A necessitar inspeção cuidada (especializada)		
ABÓBADAS	Sistemas de iluminação e outros	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
	Diversos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
	Verticalidade e alinhamento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
ABÓBADAS	Sistemas de drenagem	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
	Fendas no intradorso e tumbares	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
	Guardas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
ABÓBADAS	Perfil transversal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
	Diversos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

Figura 2: Ficha de inspeção da ex-JAE

Na sequência dos estudos conducentes à elaboração de uma tese de mestrado, no DEC-FEUP, no domínio da conservação e reabilitação de pontes, foi também elaborada uma proposta de ficha [6] que se reproduz na Figura 3 e que pretendia ser um elemento auxiliar importante na inspeção de pontes metálicas.

FICHA DE INSPECÇÃO PARA PONTES METÁLICAS (PROPOSTA)										
	Nome do responsável:				Ass:					
	Data de inspecção:				Código de projecto:					
	Data da última inspecção:				Folha n.º					
Identificação	Nome da obra:				Ano de construção:					
	Localização:									
	Rodoviária :			Identificação da Via:						
	Ferroviária:			Identificação da Linha ou Ramal:						
	Rodoviária e Ferroviária:									
Caracterização	Nº de tramos:		Contínuos:		Simplesmente apoiados:					
	Vigas tipo:									
	Pilares	Metálicos:	<input type="checkbox"/>	Alvenaria:	<input type="checkbox"/>	Betão:	<input type="checkbox"/>	Outro:	<input type="checkbox"/>	
	Encontros		Alvenaria:		<input type="checkbox"/>	Betão:	<input type="checkbox"/>	Outro:		<input type="checkbox"/>
	Tabuleiro	Superior:	<input type="checkbox"/>	Médio:	<input type="checkbox"/>	Inferior:	<input type="checkbox"/>	Outro:		<input type="checkbox"/>
	Laje		Betão:		<input type="checkbox"/>	Madeira:	<input type="checkbox"/>	Outra:		<input type="checkbox"/>
	Passeios:			Betão:		<input type="checkbox"/>	Metálico:		<input type="checkbox"/>	
	Aparelhos de apoio			Metálicos:		<input type="checkbox"/>	Outros:		<input type="checkbox"/>	
	Ligações	Rebitadas:	<input type="checkbox"/>	Aparafusadas:	<input type="checkbox"/>	Soldadas:			<input type="checkbox"/>	
	Secções compostas:			<input type="checkbox"/>		Perfis comerciais:			<input type="checkbox"/>	
	Vigas				Pilares e encontros					
	Tramo	altura	comprimento	largura	pilar/enc.	altura	secção tipo	apoio		
Nº de carlingas por painel:				Nº de longarinas:						
Comprimento total:				Altura máxima:		Altura livre:				
Largura da faixa de rodagem:				Largura dos passeios:						
Esquízo da obra com identificação das partes:										

Figura 3-a): Exemplo de ficha de inspecção de pontes metálicas [6]. Primeira folha

FICHA DE INSPECÇÃO PARA PONTES METÁLICAS (PROPOSTA)				
	Nome do responsável:		Ass:	
	Data de inspecção:		Código de projecto:	
	Data da última inspecção:		Folha n.º	
Alvenarias	Aspecto geral	Bom: <input type="checkbox"/>	Médio: <input type="checkbox"/>	Mau: <input type="checkbox"/>
	Acesso	Fácil: <input type="checkbox"/>	Dificultado: <input type="checkbox"/>	Impossível: <input type="checkbox"/>
	Alinhamento	Bom: <input type="checkbox"/>	Médio: <input type="checkbox"/>	Mau: <input type="checkbox"/>
	Fracturação	Não existe: <input type="checkbox"/>	Alguma: <input type="checkbox"/>	Bastante: <input type="checkbox"/>
	Estalactites	Não existe: <input type="checkbox"/>	Algumas: <input type="checkbox"/>	Bastantes: <input type="checkbox"/>
	Sinais de erosão	Não existe: <input type="checkbox"/>	Alguns: <input type="checkbox"/>	Bastantes: <input type="checkbox"/>
	Juntas descarnadas	Não existe: <input type="checkbox"/>	Algumas: <input type="checkbox"/>	Bastantes: <input type="checkbox"/>
Aparelhos de apoio	Aspecto geral	Bom: <input type="checkbox"/>	Médio: <input type="checkbox"/>	Mau: <input type="checkbox"/>
	Acesso	Fácil: <input type="checkbox"/>	Dificultado: <input type="checkbox"/>	Impossível: <input type="checkbox"/>
	<b>Descrição das avarias e identificação dos apoios</b>			
		Avaria	Apoio	Observações
		Pêndulos ou rolos fora de serviço		
		Platinas esmagadas		
		Balanceros com "cama"		
		Descalçamento		
		Martelagem		
		Desalinhamento		
		Bloqueado		
		Corrosão		
		Esmagamento das placas de chumbo		
	Fracturação das alvenarias			
	Outras			
Juntas de dilatação	Aspecto geral	Bom: <input type="checkbox"/>	Médio: <input type="checkbox"/>	Mau: <input type="checkbox"/>
	<b>Descrição das avarias e identificação das juntas</b>			
		Avaria	Junta	Observações
		Com folga		
		Desalinhada		
		Com efeito de degrau		
		Sinais de impacto		
		Corrosão		
		Outras		
	Estrutura metálica	Aspecto geral	Bom: <input type="checkbox"/>	Médio: <input type="checkbox"/>
Pintura		Bom estado: <input type="checkbox"/>	Média: <input type="checkbox"/>	Má: <input type="checkbox"/>
Corrosão		Não existe: <input type="checkbox"/>	Pontual: <input type="checkbox"/>	Avançada: <input type="checkbox"/>
Limpeza		Boa: <input type="checkbox"/>	Média: <input type="checkbox"/>	Má: <input type="checkbox"/>
Sistemas de drenagem		Existem: <input type="checkbox"/>	Não existem: <input type="checkbox"/>	
Via		Bom estado: <input type="checkbox"/>	Fissurada: <input type="checkbox"/>	Fracturada: <input type="checkbox"/>
Passeios		Bom estado: <input type="checkbox"/>	Médio: <input type="checkbox"/>	Mau: <input type="checkbox"/>
Guardas		Bom estado: <input type="checkbox"/>	Médio: <input type="checkbox"/>	Mau: <input type="checkbox"/>
<b>Avarias na superestrutura</b>		<b>Localização</b>	<b>Observações</b>	
Corrosão				
Perda de secção				
Deformações				
Fissuras				
Perda de elementos de ligação				
Acumulação de detritos				
Sinais de choques				
Outras				

Figura 3-b): Exemplo de ficha de inspecção de pontes metálicas [6].Segunda folha.

FICHA DE INSPECÇÃO PARA PONTES METÁLICAS (PROPOSTA)	
	Nome do responsável: _____ Ass: _____
	Data de inspecção: _____ Código de projecto: _____
	Data da última inspecção: _____ Folha n.º _____
Ensaios	Ensaios efectuados: _____ Sim: <input type="checkbox"/> Não: <input type="checkbox"/>
	Breve descrição:
	_____
	_____
	_____
Observações	_____
	_____
	_____
	_____
	_____
	_____
	_____
	_____
	_____
	_____
Avarias a detalhar	Descrição:
	_____
	_____
	_____
	_____
	_____
	_____
	_____
	_____
	_____
	_____
	_____
	_____

Figura 3-c): Exemplo de ficha de inspecção de pontes metálicas [6]. Terceira folha.



### 3.2 Inspecções factuais

Num outro contexto, existem as *inspecções factuais*, realizadas de forma extraordinária no seguimento de alguma ocorrência ou facto (acidente, avaria, etc.) que determina a necessidade de se proceder à inspecção da obra afectada. Nestes casos é frequente os inspectores depararem com falta de informações relativas à história da ponte e com fortes pressões de muita urgência na realização da inspecção que, em boa verdade e em grande parte dos casos, desvanece à medida que a ocorrência vai ficando no esquecimento.

O relatório associado a este tipo de inspecção obriga assim a proceder a uma recolha de dados sobre a ponte, que normalmente passa por uma consulta dos documentos disponíveis com ela relacionados, nomeadamente: o projecto original; projectos de alterações posteriores (pertencentes ou não ao mesmo projectista); documentos históricos; artigos de jornais ou revistas que tenham retratado acontecimentos particulares da obra como acidentes por exemplo. Estes artigos podem revelar-se bastante importantes, dado que frequentemente apresentam informação muito pormenorizada, podendo mesmo conter detalhes não existentes em documentos oficiais integrantes do projecto. Nestes documentos estão geralmente incluídas as folhas de cadastro já anteriormente referidas e que são pertença das entidades oficiais que tutelam a obra.

Será oportuno referir que as primeiras dificuldades podem ser encontradas logo na fase de recolha de dados, nomeadamente no que se refere aos documentos escritos atrás mencionados. De facto, é frequente ocorrerem situações, como por exemplo a da Ponte Metálica do Pinhão, onde praticamente não existem informações sobre o projecto original, a identidade do projectista, a data do início da construção, eventuais intervenções posteriores, etc. Neste caso em particular, e segundo indicações dos responsáveis da ex-JAE todos os documentos que integravam o processo daquela ponte desapareceram num assalto (ou incêndio) ocorrido nos arquivos em Lisboa. Neste contexto vale a pena referir o exemplo de países como a China onde é possível a obtenção de elementos relativos a obras com centenas e por vezes milhares de anos [7], em contraste com situações que ocorrem em Portugal onde, por vezes para obras com 20 ou 30 anos, não se encontram elementos sobre as mesmas e, frequentemente, os elementos existentes pouco têm a ver com a obra realmente executada.

Assim, em muitos casos não é possível o conhecimento da história da estrutura, obrigando portanto a uma inspecção mais cuidada. Deste modo, há que realizar um processo de levantamento da obra existente, a fim de prosseguir com os estudos.

É de salientar a importância de que se revestem as visitas à obra, mesmo dispondo de um completo processo histórico. Estas visitas permitem efectuar quer uma comparação entre os dados constantes dos projectos existentes, quer um levantamento das anomalias encontradas. Acompanhando todo este processo com um levantamento fotográfico ou videográfico completo, será possível criar uma base de trabalho em gabinete que evite sucessivas visitas à obra para esclarecimento de dúvidas que vão surgindo.

O levantamento fotográfico é de facto um elemento auxiliar de extraordinária utilidade pois permite uma consulta sistemática da obra, clarificando muitas dúvidas de geometria, das

secções, etc., sendo ainda um meio eficaz de guardar informação para consulta futura já que permite deixar registadas muitas das anomalias detectadas, poupando trabalho escrito nunca tão completo como uma imagem do observado. Por outro lado, as fotografias podem muitas vezes servir para determinar, ainda que de forma aproximada, as dimensões de alguns elementos inacessíveis, pelo menos sem equipamento especializado [6].

As visitas à obra deverão ter também um carácter comparativo. Apesar da possível existência do projecto original ou de posteriores intervenções, devem no entanto efectuar-se algumas medições *in situ*, de modo a poder concluir-se da exactidão das peças desenhadas disponíveis. De facto, com alguma frequência acontece que a obra existente nem sempre está de acordo com o projecto disponível. Salienta-se o exemplo da Ponte Luiz I sobre o rio Douro onde foram detectadas algumas importantes diferenças de geometria entre o projecto original e a obra que de facto foi construída [8]. Muitas destas diferenças não são detectáveis por simples observação, havendo que investir algum tempo e esforço num conhecimento profundo da estrutura, que passa por uma contínua observação comparativa dos desenhos disponíveis e da estrutura existente.

Por outro lado, deve-se realçar que as inspecções, só por si, não colocam a descoberto todas as anomalias que uma ponte possa conter. Na realidade algumas surpresas a este nível podem ocorrer quando se iniciam algumas recuperações nos elementos da estrutura. Quando se executam acções de reparação podem surgir anomalias que não tinham sido detectadas anteriormente. É prudente colocar algumas reservas relativamente à situação real da obra.

A segurança de uma dada obra, pontes em particular, é, por excelência, o aspecto mais importante que merece alguma reflexão desde logo durante a inspecção. Uma primeira avaliação do estado da obra, especulando acerca da sua segurança, é um dos principais resultados que, se possível, deve constar no relatório de inspecção.

Naturalmente, se durante as inspecções realizadas forem de imediato detectadas anomalias que se consideram graves, haverá que alertar rapidamente as entidades responsáveis, aconselhando o encerramento da ponte ou uma restrição à sua utilização, nomeadamente quanto ao valor das cargas rolantes e respectiva velocidade de circulação. Sendo a preservação da vida humana o aspecto primordial, a avaliação da segurança da obra deve ser sempre levada a cabo pelo engenheiro, que deverá tomar medidas adequadas visando a anulação do risco de colapso [6].

Neste contexto, a inspecção deve ser utilizada no sentido de se avaliar a constituição e o nível de degradação dos diversos elementos estruturais, a fim de permitir obter um conhecimento adequado da ponte e também sustentar decisões. Tais decisões visam, em primeira análise, a escolha entre as opções de conservação, demolição parcial ou total da obra ou ainda a tomada de medidas preventivas de segurança, e eventualmente, a escolha das técnicas de reabilitação.

No âmbito da avaliação estrutural é importante que, aquando das visitas efectuadas à obra, se proceda à recolha de amostras para futuros ensaios em laboratório e também ensaios *in situ*. Os ensaios laboratoriais são de extraordinária importância, pois só a partir deles é possível determinar as características físicas, químicas e mecânicas do material de modo a se poder ajuizar sobre a resistência residual que apresenta, índices de fadiga, etc. Preferencialmente, os

ensaios devem ser levados a cabo por técnicos especializados, garantindo um tratamento estatístico dos resultados, já que estes podem constituir a base de trabalho para futuros estudos.

A extracção de provetes para ensaio deve ser apoiada por alguns critérios que importa deixar registados. O local escolhido para a retirada da amostra deve ser devidamente ponderado. A escolha de elementos que não careçam de reparação é uma hipótese a considerar, mas, naturalmente, deve optar-se por elementos tais que, a operação de retirada da amostra seja facilitada e a estabilidade da estrutura não fique comprometida. É de notar que os elementos mais esforçados serão porventura os que apresentam estados de tensão mais elevados e que, conseqüentemente, se encontram mais deteriorados. A substituição dos troços de elementos retirados é, na grande maioria dos casos, absolutamente indispensável.

Além dos ensaios laboratoriais, outros ensaios realizáveis no local permitem obter informações bastantes úteis. É o caso, por exemplo, da medição de frequências próprias da ponte, utilizando equipamento especializado. Este tipo de ensaio proporciona resultados que permitem para calibrar os dados a utilizar em modelações numéricas da estrutura mediante o uso de programas de cálculo automático, contribuindo definitivamente para aumentar o nível de confiança no modelo de cálculo adoptado e nos resultados obtidos.

Adicionalmente, e sempre que possível, a medição de algumas deformações pode e deve ser efectuada, quer ao nível global usando material topográfico para medir movimentos transversais e longitudinais, quer a nível mais localizado usando equipamento que permite medir extensões dos elementos e movimentos dos aparelhos de apoio.

### 3.3 Casos práticos

O DEC-FEUP tem sido solicitado para efectuar inspecções factuais a algumas obras de arte existentes, no âmbito das quais se tendo procurado elaborar fichas tipo [9] que permitam uma adequada classificação e identificação das anomalias nos diversos elementos estruturais e não estruturais. Pretende-se assim dispôr de um instrumento que permita uma análise rápida dos principais problemas da ponte de modo a facilitar as decisões sobre as medidas a tomar. O tipo de ficha proposto é também usado noutras situações e tem-se revelado muito útil, possibilitando rápidas consultas do processo de cada obra e objectivas interpretações das anomalias encontradas.

Como exemplo duma destas inspecções apresenta-se o caso da Ponte de Estorãos, situada no lugar de Estorãos, no concelho de Ponte de Lima [10]. Para o efeito foram elaborados mapas de danos, a partir de uma visita técnica efectuada à obra. Estes mapas [9] foram estruturados por tipo de anomalia registada, que é devidamente identificada com a letra D e um número referente a cada tipo de dano.

Os diferentes elementos da ponte foram devidamente referenciados com as identificações apresentadas nas Figuras 4 e 5 e que correspondem a

E1 – Olhal 1	E3 – Arco 2	E5 – Quebra-rio 1	E7 – Quebra-rio 3	E9 – Encontro 2
E2 – Arco 1	E4 – Arco 3	E6 – Quebra-rio 2	E8 – Encontro 1	E10 - Guardas

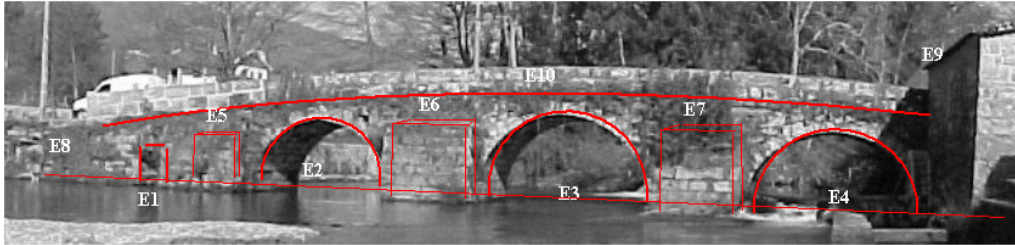


Figura 4: Ponte de Estorãos. Identificação dos elementos – Alçado Sul

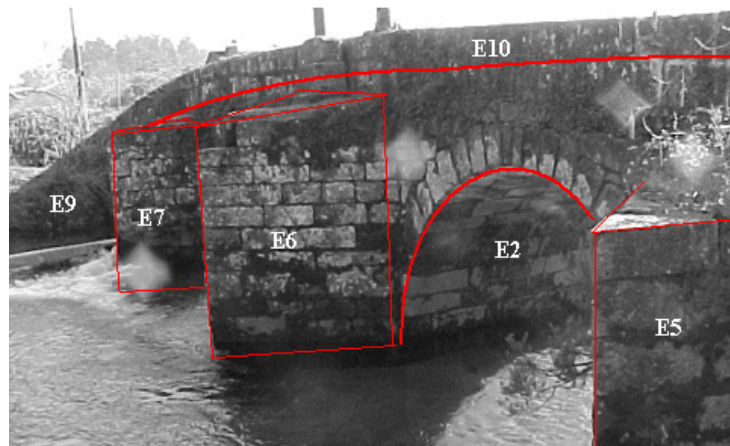


Figura 5: Ponte de Estorãos. Identificação dos elementos – Alçado Norte

Em cada elemento foram localizadas as anomalias encontradas para as quais é feita uma descrição pormenorizada dos danos associados. Inclui-se a identificação das causas que lhe deram origem, acompanhada de registos fotográficos efectuados no local e são ainda apresentados os meios de prevenção e reparação dos referidos danos. Nas Figuras 6 e 7 apresentam-se os mapas de danos correspondentes a dois tipos de anomalias, uma de índole claramente estrutural (abertura longitudinal do intradorso da ponte) e outra de carácter não estrutural (presença de humidade) que, porém, pode ter consequências ao nível do comportamento da estrutura.

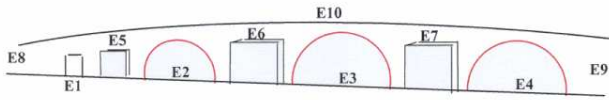




MAPA DE DANOS		Tipo:	D1
Tipo de dano: <b>ABERTURA LONGITUDINAL DO INTRADORSO DA PONTE</b>			
Localização dos danos:		Elementos Estruturais:	
 <p>Vista esquemática de jusante</p>		E2 E3 E4	
<b>Descrição:</b>		<b>Registo fotográfico:</b>	
<p>A abertura de juntas, observada longitudinalmente no intradorso dos arcos, caracteriza-se por um deslocamento transversal da primeira fiada de pedra do lado montante.</p> <p>Esta situação, que ocorre também nos elementos E3 e E4, apresenta-se mais gravosa no elemento E2 ( Fig. 5 e Fig. 6) onde se pode já observar o destacamento de pedras próximo do fecho do arco conforme assinalado na Fig. 5.</p>		 <p>Fig. 5 – Abertura de juntas em E2 a montante. Destacamento de pedra central.</p>	
<b>Causas:</b>		 <p>Fig. 6 – Pormenor da abertura de juntas em E2.</p>	
<p>Aliada à penetração evidente das águas pluviais que vão deteriorando os elementos estruturais, observou-se ainda a circulação efectiva de veículos pesados (camião de carga e camioneta de passageiros) sobre a ponte. Estando o pavimento executado praticamente sobre o arco (Fig. 7) e não existindo portanto espessura que promova uma conveniente degradação de cargas, é de esperar uma elevada concentração de esforços neste elemento como, aliás, se pode confirmar na Fig. 8 ilustrativa da acentuada deformação do pavimento. Este facto, associado à degradação da resistência dos materiais, deverá estar na origem do aparecimento da referida abertura de juntas.</p>		 <p>Fig. 7 – Arco e guardas.</p>	
<b>Prevenção:</b>		 <p>Fig. 8 – Deformação do pavimento.</p>	
<b>Reparação:</b>			
<p>Execução de projecto de reforço dos arcos, que deverá preservar a qualidade da obra e que poderá consistir num reforço pelo extradorso do arco com laminados de CFRP ou com varões de carbono que liguem as diversas pedras do arco, ou ainda com varões de aço que pré-esforcem as pedras do arco no sentido transversal.</p>			

Figura 6: Mapa de danos na Ponte de Estorãos. Abertura de juntas e fendas nos arcos.

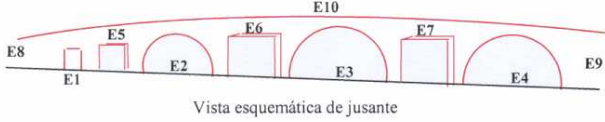


MAPA DE DANOS		Tipo:	D2
Tipo de dano: <b>HUMIDADE</b>			
Localização dos danos:		Elementos Estruturais:	
 <p>Vista esquemática de jusante</p>		E1 E6 E2 E7 E3 E8 E4 E9 E5 E10	
<b>Descrição:</b> A presença de humidade é responsável pela activação dos seguintes agentes promotores do decaimento da pedra: <ul style="list-style-type: none"> <li>- variação do volume da pedra por expansão diferencial devido a desigual conteúdo de humidade;</li> <li>- variação de volume nos capilares e interstícios por expansão da água de embebição dos minerais, por hidratação de impurezas e por cristalização de sais;</li> <li>- dissolução ou reacção química da pedra pela acção de ácidos formados sobre as paredes;</li> <li>- actividade biológica por ataque químico, por acção de bactérias quimico-litotróficas e pela erosão promovida por associações simbióticas e por plantas que penetram nas juntas da pedra.</li> </ul>		<b>Registo fotográfico:</b>  <p>Fig. 8 – Presença de humidade no intradorso do arco</p>  <p>Fig. 9 – Quebra-rio com musgos típicos da presença de humidade</p>  <p>Fig. 10 – Escorrências na alvenaria no intradorso do arco</p>  <p>Fig. 11 – Escorrências no intradorso do arco.</p>	
<b>Causas:</b> A humidade no interior da alvenaria pode ser originada por: condensação do vapor de água presente no ar, ocorrência frequente de nevoeiros, penetração da água da chuva que pode aumentar por ineficácia do sistema de impermeabilização e degradação da rede de drenagem de águas pluviais; absorção por capilaridade que depende da porosidade do material, evaporação, temperatura e variações cíclicas do nível da água.			
<b>Prevenção:</b> Um sistema eficaz de drenagem de águas pluviais, poderá diminuir em muito os efeitos causados pelas humidades advindas daquelas águas.			
<b>Reparação:</b> Execução de drenagem eficaz de águas pluviais junto aos paramentos da ponte, acompanhando o caimento natural do tabuleiro e posterior recolha em caixa de águas com reencaminhamento para o rio ou para conduta de recolha de águas pluviais (se esta existir). Limpeza não abrasiva de todas as colónias biológicas existentes.			

Figura 7: Mapa de danos na Ponte de Estorãos. Presença de humidade.



No domínio da avaliação estrutural de pontes têm sido também desenvolvidos vários estudos no DEC-FEUP, com particular incidência em estruturas antigas de grande valor histórico. Pela sua importância destacam-se dois casos emblemáticos na zona do Porto.

O primeiro caso reporta-se ao estudo elaborado para a empresa Metro do Porto, S.A. sobre a integração do tabuleiro superior da Ponte Luiz I (Figura 8) no traçado de uma das linhas do Metro Ligeiro do Porto que deverá estabelecer a ligação com a cidade de Vila Nova de Gaia. O objectivo principal consistia em averiguar se, do ponto de vista estrutural, era ou não possível atribuir à ponte esta nova função em face das suas solicitações próprias [8].

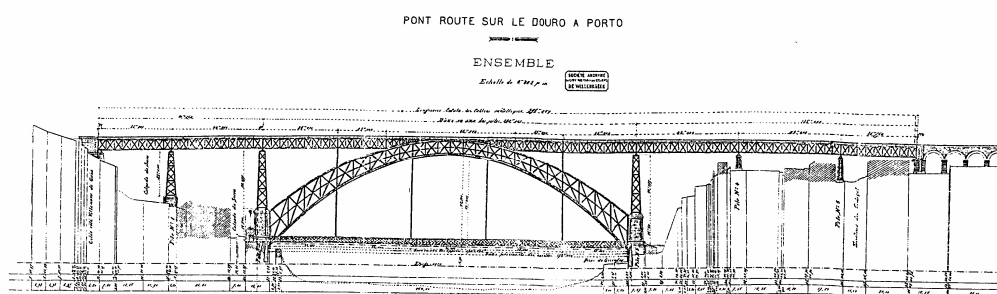


Figura 8: Ponte Luiz I. Alçado de montante, reprodução do projecto original.

Nesse contexto, realizou-se inicialmente um estudo de carácter preliminar, no qual foram desenvolvidas análises simplificadas de índole estático permitindo retirar as primeiras conclusões que ditariam a interrupção ou a prossecução dos estudos. Dessa primeira análise concluiu-se de facto que, a menos dos resultados de subsequentes estudos dinâmicos, análises de efeitos de segunda ordem e ensaios dos aços, a ponte poderia ser integrada no traçado da linha de Metro Ligeiro do Porto, mediante a adopção de medidas visando a sua recuperação e a eliminação das anomalias detectadas durante as inspecções realizadas ao longo do período dos estudos [11].

Após os primeiros resultados, prosseguiu-se com análises mais aprofundadas que incluíram estudos dinâmicos para:

- i) medição experimental das frequências do tabuleiro e do arco e comparação com a respectiva quantificação numérica;
- ii) avaliação da influência da passagem do metro a diferentes velocidades, de onde poderiam resultar significativas amplificações dinâmicas, com as consequentes repercussões no conforto dos passageiros e nos esforços da estrutura.

Procedeu-se ainda à quantificação de modos locais e globais de encurvadura, o que se revelou uma análise bastante importante por terem sido detectados, já nas inspecções efectuadas e depois nos resultados do cálculo, diversos problemas relacionados com a encurvadura duma

série de elementos estruturais. Este facto, conjugado com outros semelhantes já encontrados noutras obras, leva a crer que as questões de encurvadura não seriam bem conhecidas na época.

Os estudos analíticos foram complementados com ensaios experimentais realizados pelo Departamento de Mecânica da FEUP, sobre provetes retirados da ponte. Estes ensaios permitiram a avaliação de propriedades físicas e mecânicas dos materiais (módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, resistência, índices de fadiga, etc.), assim como a quantificação dos valores de tensões admissíveis para dimensionamento e ainda a estimativa do período de vida útil que seria de esperar para peças com características semelhantes às que foram extraídas da ponte.

A importância deste estudo ficou acrescida pelo facto de ter permitido reunir uma série de informações de carácter histórico, documentada num texto cronologicamente organizado e contendo o que de mais importante se passou nesta ponte ao longo destes anos [8].

Finalmente, foi possível concluir que, mesmo que a ponte não fosse utilizada para o Metro, se tornava urgente a realização de diversas obras de manutenção [8].

Um segundo caso refere-se ao estudo de caracterização do comportamento dinâmico da Ponte Maria Pia. Esta ponte, uma das primeiras e mais famosas obras de Gustave Eiffel, constitui um marco importante na história das pontes [12]. É uma obra de extraordinária beleza e uma referência no domínio das estruturas metálicas, como arco biarticulado que suporta o tabuleiro ferroviário de viga simples, através de pilares em treliça.

Inaugurada em 1877, completará 124 anos em 4 de Novembro de 2001 e, sendo monumento nacional desde 1982, representa uma obra ímpar da engenharia civil e da arquitectura do ferro. Por outro lado, é uma referência no desenvolvimento da Região Norte, já que possibilitou o incremento das ligações entre o Norte e o resto do País, resultando daí um grande crescimento económico dessa região.

Apesar disso e da obrigação moral da presente geração em preservar a Ponte Maria Pia para as gerações seguintes, este monumento encontra-se abandonado e a degradar-se à espera que o bom senso prevaleça. De facto, urge a tomada de medidas concretas que, tirando partido da sua beleza e do local onde se encontra, lhe atribuam novas funções honradoras da sua característica de marco de referência na engenharia civil. O destino da Ponte Maria Pia deve pois constituir, neste momento, uma preocupação de todos os engenheiros e dos agentes económicos e políticos, quer pela sua importância para a engenharia civil quer pelo valor cultural e patrimonial que representa.

Neste contexto, e com o estudo desenvolvido [12], procurou-se dar uma contribuição para a preservação desta ponte, através da identificação das características geométricas e mecânicas da estrutura e da criação de uma base de dados que deverá, no futuro, possibilitar cálculos que se mostrem necessários para a nova função que a ponte venha a desempenhar.



#### 4. CONCLUSÕES

Pretendeu-se com este trabalho apresentar alguns exemplos do que, no domínio da inspeção e avaliação estrutural de pontes, tem sido feito no Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Assim, foram discutidas questões de linguagem e conceitos relativos à inspeção, conservação e manutenção, e apresentadas algumas fichas de inspeção que têm sido propostas e usadas nos diversos trabalhos. Foram também referenciados alguns exemplos de casos concretos onde o DEC-FEUP foi chamado a intervir. Por fim foi realçada a convicção de que a conservação é fundamental para assegurar que, no universo das pontes, o património construído irá perdurar, tendo-se focalizado a importância da Ponte Maria Pia neste contexto.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] *Grande Dicionário da Língua Portuguesa* Edição dos Amigos dos Leitores, Lisboa, 1981.
- [2] Calgaro, J-A; Lacroix, R. – *Maintenance et Réparation des Ponts*. École Nationale des Ponts et Chaussées, France, Julho 1997.
- [3] Duarte, R. T. , *Conversa Pessoal*, 1994.
- [4] Henriques, Fernando M.A – *A Conservação do Património Construído*. Memória n.º 775, LNEC, Lisboa, 1981.
- [5] *Manual Sobre Pontes* . Direcção de Conservação. Divisão de Obras de Arte e Construção Civil. Pontes. Vol. 12 (Extracto).
- [6] Santos, N. E. – *Conservação e Reabilitação de Pontes Metálicas*. Tese de Mestrado, FEUP, Porto, 1998.
- [7] Olga, R.- *Entornos Virtuales para la Modelización de Edificios Históricos*. Seminário Restauración, Rehabilitación y Revitalización del Patrimonio, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Madrid, Junho, 2001.
- [8] Coelho, A.G.; Mota Freitas, A.; Azeredo, M.; Costa, A.; Santos, N.; Cruz, J.S.; Lopes, D. *Estudo da Viabilidade de Utilização da Ponte Luiz I pelo Metro Ligeiro do Porto*. Relatório Técnico (Definitivo), Serviço de Estruturas do Instituto da Construção, FEUP, Porto, 1996.
- [9] Costa, C. - *Análise do Comportamento da Ponte da Lagoncinha sob a Acção do Tráfego Rodoviário*. Tese de Mestrado (em preparação), FEUP, Porto, 2001.
- [10] Costa, A.; Arêde, A.; Paupério, E.- *Relatório de Inspeção. Ponte de Estorãos*. Serviço de Estruturas do Instituto da Construção, FEUP, Porto, 2001.
- [11] Coelho, A.G.; Mota Freitas, A.; Azeredo, M.; Costa, A.; Santos, N.; Cruz, J.S.; Lopes, D. *Estudo da Viabilidade de Utilização da Ponte Luiz I pelo Metro Ligeiro do Porto*. Relatório Técnico (Preliminar), Serviço de Estruturas do Instituto da Construção, FEUP, Porto, 1996.
- [12] Costa, A. e Costeira, P. – *Caracterização do Comportamento Dinâmico da Ponte Maria Pia*. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas, n.º 45, LNEC, Lisboa, Abril 1999.



