

**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Ricardo de Figueiredo Gonçalves Poças

## **Gestão do Ciclo de vida de Pontes**

Tese de Mestrado  
Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação de  
**Professor Doutor José Manuel Cardoso Teixeira**

Co-Orientador  
**Professor Doutor José António Fonseca da Mota Freitas**



## AGRADECIMENTOS

Ao terminar este trabalho, gostaria de deixar o meu mais profundo e sincero agradecimento a todas as pessoas e entidades que de alguma forma contribuíram para a sua concretização, nomeadamente:

- Ao Prof. José Cardoso Teixeira pelo empenho e cuidado com que orientou este trabalho e, pela disponibilidade demonstrada a cada momento, fundamentais ao desenvolvimento e à elaboração desta dissertação.

- Ao Prof. José Mota Freitas, pela amizade, ensinamentos transmitidos e disponibilidade demonstrada na co-orientação deste trabalho e por todos os meios materiais, nomeadamente a partilha de uma extensa bibliografia, essencial à elaboração desta dissertação.

- Ao Prof. Jorge Manuel Lopes Brito do IST, pela conversa esclarecedora e ajuda inicial na abordagem de um tema que para mim era novo.

- Ao Eng.º José Clemente da REFER – E.P.E, pela disponibilidade e informações prestadas.

- À Eng.ª Vanessa Costa e ao Eng.º Jorge Faial da EP - Estradas de Portugal, E.P.E, pelas informações prestadas e pela troca de opiniões.

- A todos os meus amigos que, apesar de não terem contribuído directamente para a realização deste trabalho, sempre me incentivaram à sua conclusão.

- À minha família, especialmente aos meus pais e irmã, pelo carinho e apoio recebidos ao longo da minha vida. Agradeço-lhes a motivação, incentivo e compreensão com que sempre me presentearam ao longo da elaboração desta dissertação.

- Por fim, quero expressar o meu profundo agradecimento à minha mulher Teresa, pelo amor, apoio e compreensão, essenciais à conclusão desta dissertação.



# GESTÃO DO CICLO DE VIDA DE PONTES

## RESUMO

O investimento em infra-estruturas de transportes seguido por Portugal nos últimos anos irá implicar a adopção de estratégias de conservação que garantam a sua utilização ao longo de toda a vida útil. Os fundos dispendidos em manutenção e conservação de pontes são limitados, devendo ser aplicados eficientemente.

Neste contexto, desenvolve-se o presente trabalho que tem como objectivo desenvolver metodologias de optimização da durabilidade e conservação na gestão do ciclo de vida de pontes.

A dissertação inicia-se com a descrição e análise de sistemas de gestão de pontes dos Estados Unidos e Europa, procurando recolher experiências e métodos aplicáveis em Portugal.

Descreve-se o âmbito da gestão do ciclo de vida de pontes e ferramentas de apoio à gestão (Sistema de gestão de pontes e Análise de custos do ciclo de vida). Divide-se o ciclo de vida em duas fases: A primeira fase vai da concepção à construção e a segunda corresponde à fase em serviço das pontes. São realçadas medidas preventivas e reactivas a tomar que visem garantir a durabilidade e a optimização da estratégia de conservação, mantendo a ponte nos níveis de segurança e de serviço predefinidos.

Ao nível da inspecção, é feita uma proposta de plano de inspecção, que preveja a utilização de sistemas de monitorização e tabelas de relação causa – efeito. Para a avaliação do nível de conservação, é igualmente feita uma proposta baseada numa análise efectuada a vários sistemas existentes.

É apresentado um sistema de apoio à decisão baseado em análises custo-benefício, de suporte à definição de estratégias de conservação ao nível da rede viária e da ponte.

Conclui-se apresentando as principais conclusões e desenvolvimentos futuros.

Em anexo, desenvolve-se um modelo de base de dados de um sistema de gestão de pontes e um estudo de gestão de ciclo de vida para pontes metálicas de via ferroviária.

**Palavras-Chave:** Pontes, ciclo de vida, gestão preventiva e reactiva, sistema de gestão, inspecção, manutenção, reparação, decisão, análise custo-benefício.



# BRIDGES LIFE-CYCLE MANAGEMENT

## ABSTRACT

The investment in transport infrastructures followed by Portugal in the last years will imply the adoption of maintenance strategies to ensure their use throughout the service life. Funds applied in bridge maintenance are limited and have to be applied efficiently.

In this context, the present work aims to develop methodologies to optimize durability and maintenance options in the bridges life cycle management.

The thesis starts with the description and analysis of several management systems used in the United States and Europe, trying to get experiences and methodologies to apply in Portugal.

The scope of the bridges life cycle management and management tools like the bridges management systems and the life cycle cost analysis are described. The life cycle is divided into two phases. The first starts with the conception and goes until the construction of the bridge. The second correspond to the service life period.

For both phases are presented preventive and reactive management measures to guarantee durability and maintenance strategy optimization of the bridge according to the safety and functionality levels predefined.

To the inspection is developed an inspection plan that should include monitoring systems and cause-effect relation tables. To the condition assessment is also proposed a system based on several condition assessment systems presented.

It's presented a decision making system (based in cost-benefit analysis) to support maintenance strategy definition at two levels: bridge and network level.

In the final conclusions, are presented the main conclusions of the thesis and future developments are identified.

In appendix is presented a proposal for a database of a bridge management system and a life cycle management methodology to a steel railway bridge.

**Key-words:** Bridges, life cycle, preventive and reactive management, management system, inspection, maintenance, repair, decision, cost-benefit analysis.





## LISTA DE ABREVIATURAS

- AASHTO – American Association of State Highway and Transport Officials
- BRIME – Bridge Management in Europe
- CALTRANS – Departamento de Transportes da Califórnia
- CPC - Corps des Ponts et Chaussés
- DBFO - Conceção, Construção, Financiamento e Operação
- EP – Estradas de Portugal, E.P.E
- FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- FHWA – Federal Highway Administration
- GOA – Sistema de Gestão de Obras de Arte
- LABEST – Laboratório de Tecnologia do Betão e do Comportamento Estrutural da Faculdade de Engenharia do Porto
- LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
- NBI –National Bridge Inventory
- NBIS –National Bridge Inventory Standards
- NCHRP – National Cooperative Highway Research Program
- REAE – Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios
- REBAP – Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado
- REFER – Rede Ferroviária Nacional, EP
- RSA – Regulamento de Segurança e Acções para Edifícios e Pontes
- SÉTRA – Service d'études sur les transports, les routes et leur aménagements
- SNCF – Société Nationale des Chemins de Fer
- UIC – Union International des Chemins de Fer



# ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
1.2. SISTEMAS DE GESTÃO DE PONTES.....	2
1.3. OBJECTIVOS E METODOLOGIA .....	4
1.3.1. Objectivos.....	4
1.3.2. Metodologia .....	5
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	7
1.4.1. Capítulo 2 - Sistemas de gestão existentes .....	7
1.4.2. Capítulo 3 - Gestão de pontes .....	8
1.4.3. Capítulo 4 – Prevenção na fase de concepção, projecto e construção.....	9
1.4.4. Capítulo 5 – Fase de Serviço (Vida útil) .....	9
1.4.5. Capítulo 6 – Apoio à decisão – Estudo de cenários.....	10
1.4.6. Capítulo 7 – Conclusões.....	10
<b>2. SISTEMAS DE GESTÃO EXISTENTES .....</b>	<b>11</b>
2.1. INTRODUÇÃO .....	11
2.2. EUROPA.....	12
2.2.1. Dinamarca.....	13
2.2.2. Finlândia .....	17
2.2.3. Suíça.....	19
2.2.4. Reino Unido .....	20
2.2.5. França .....	22
2.2.6. REFER - Portugal .....	24
2.2.7. EP - Estradas de Portugal, E.P.E.....	26
2.2.8. GOA – Sistema de Gestão de Obras de Arte .....	28
2.2.9. Sistema de gestão de obras de arte de betão.....	30
2.2.10. Projecto BRIME.....	31
2.2.11. Projecto Pontes sustentáveis .....	34
2.3. ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA (E.U.A) .....	35
2.3.1. Breve Introdução histórica e situação actual .....	35

2.3.2.	Administração, gestão e financiamento das pontes .....	37
2.3.3.	A Gestão de Pontes na FHWA .....	37
2.3.4.	A avaliação da conservação por elementos da ponte.....	41
2.3.5.	Sistemas de Gestão de Pontes .....	42
2.4.	ANÁLISE DOS SISTEMAS DE GESTÃO DE PONTES APRESENTADOS.....	48
2.4.1.	Base de dados.....	49
2.4.2.	Planos de Inspeção .....	50
2.4.3.	Critérios de avaliação existentes.....	51
2.4.4.	modelos de deterioração e Sistemas de Apoio à decisão .....	54
<b>3.</b>	<b>GESTÃO DE PONTES .....</b>	<b>57</b>
3.1.	INTRODUÇÃO .....	57
3.2.	ENQUADRAMENTO.....	58
3.3.	SISTEMA DE GESTÃO DE PONTES.....	59
3.3.1.	Organização de um sistema de Gestão de Pontes .....	61
3.4.	ANÁLISE DE CUSTOS DO CICLO DE VIDA.....	62
3.4.1.	Análise a preços correntes .....	63
3.4.2.	Custos do ciclo de vida de uma ponte.....	64
<b>4.</b>	<b>PREVENÇÃO EM FASE DE CONCEPÇÃO, PROJECTO E CONSTRUÇÃO.....</b>	<b>71</b>
4.1.	INTRODUÇÃO .....	71
4.2.	CONCEPÇÃO .....	72
4.2.1.	Estudo económico .....	72
4.2.2.	Modelo de Contratação em regime de Concessão ou DBFO .....	74
4.3.	PROJECTO .....	75
4.3.1.	Projecto de Durabilidade.....	76
4.3.2.	Pormenores Construtivos.....	77
4.4.	CONSTRUÇÃO E MONTAGEM .....	79
4.4.1.	Projecto e Construção .....	80
<b>5.</b>	<b>FASE DE SERVIÇO (VIDA ÚTIL).....</b>	<b>81</b>
5.1.	INTRODUÇÃO .....	81
5.2.	INSPECÇÃO E MONITORIZAÇÃO.....	82
5.2.1.	Qualificações dos Técnicos de Inspeção.....	82
5.2.2.	Plano de Inspeções .....	83

5.2.3.	Monitorização de Pontes.....	94
5.3.	TABELAS DE RELAÇÃO CAUSA-EFEITO – SUPORTE À INSPECÇÃO E AVALIAÇÃO .....	95
5.4.	CONSEQUÊNCIAS IMEDIATAS DA INSPECÇÃO.....	100
5.5.	CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO.....	100
5.5.1.	Introdução .....	100
5.5.2.	Critérios de Avaliação propostos.....	101
5.6.	ESTRATÉGIA DE CONSERVAÇÃO - MANUTENÇÃO E REPARAÇÃO.....	109
5.6.1.	Tipos de Manutenção e Reparação .....	110
5.6.2.	Optimização da Manutenção .....	111
<b>6.</b>	<b>APOIO À DECISÃO – ESTUDO DE CENÁRIOS .....</b>	<b>117</b>
6.1.	INTRODUÇÃO .....	117
6.2.	MODELOS DE PREVISÃO DE DETERIORAÇÃO .....	118
6.2.1.	Processo de decisão de Markov aplicado a modelos de deterioração .....	118
6.3.	METODOLOGIA DE DECISÃO.....	122
6.3.2.	Apoio à decisão na análise ao nível da ponte .....	123
6.3.3.	Análise ao nível da Rede Viária.....	127
6.4.	FLUXOGRAMA DE ACTUAÇÃO NO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO .....	128
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>133</b>
7.1.	SUMÁRIO E CONCLUSÕES .....	133
7.2.	CONTRIBUTOS DA DISSERTAÇÃO.....	135
7.2.1.	Regulamentação.....	135
7.2.2.	Fase de Projecto e construção .....	136
7.2.3.	Inspeção e monitorização.....	136
7.2.4.	Avaliação e Decisão .....	137
7.3.	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	138
<b>ANEXOS .....</b>	<b>141</b>	
<b>A.1 - BASE DE DADOS DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE PONTES.....</b>	<b>143</b>	
A.1. 1 - INTRODUÇÃO .....	143	
A.1.1.1 - Enquadramento no sistema.....	144	
A.1.1.2 - Organização Geral.....	144	
A.1. 2 - INVENTÁRIO.....	145	

A.1.2.1 -	Identificação e Localização .....	145
A.1.2.2 -	Idade e Serviço.....	147
A.1.2.3 -	Características Geométricas .....	151
A.1.2.4 -	Estrutura e Material.....	152
A.1.2.5 -	Projecto, Construção e Índices de Capacidade de Carga.....	154
<b>A.2 -</b>	<b>ELEMENTOS DE UMA PONTE FERROVIÁRIA EM TRELIÇA METÁLICA .....</b>	<b>157</b>
A.2. 1 -	TRELIÇA METÁLICA – ESTRUTURA E MATERIAL .....	157
A.2. 2 -	O AÇO E A EVOLUÇÃO DAS ESTRUTURAS .....	158
A.2. 3 -	ELEMENTOS CONSTITUINTES DA PONTE.....	159
A.2.3.1 -	Tabuleiro .....	160
A.2.3.2 -	Superestrutura.....	160
A.2.3.3 -	Apoios e Juntas .....	161
A.2.3.4 -	Substrutura e fundações.....	163
<b>A.3 -</b>	<b>PRINCIPAIS ANOMALIAS E SUAS CAUSAS EM PONTES METÁLICAS .....</b>	<b>167</b>
A.3. 1 -	INTRODUÇÃO .....	167
A.3. 2 -	CORROSÃO .....	168
A.3.2.1 -	Mecanismo de Corrosão - Processo químico.....	168
A.3.2.2 -	Tipos de Corrosão .....	170
A.3.2.3 -	Causas de formação de corrosão em pontes metálicas .....	170
A.3. 3 -	FADIGA.....	173
A.3.3.1 -	Mecanismo de Fadiga .....	173
A.3.3.2 -	Causas da formação de fissuras por fadiga .....	175
A.3. 4 -	ROTURA FRÁGIL.....	177
A.3. 5 -	DISTORÇÃO .....	177
A.3. 6 -	VIBRAÇÕES E ESFORÇOS SECUNDÁRIOS NAS LIGAÇÕES .....	178
A.3. 7 -	ANOMALIAS EM APARELHOS DE APOIO .....	178
A.3. 8 -	EVOLUÇÃO DAS SOBRECARGAS FERROVIÁRIAS.....	179
<b>A.4 -</b>	<b>PREVENÇÃO EM FASE DE PROJECTO E CONSTRUÇÃO – PONTE METÁLICA.....</b>	<b>181</b>
A.4. 1 -	INTRODUÇÃO .....	181
A.4. 2 -	ACÇÕES E DEFORMAÇÕES APLICADOS A UMA PONTE.....	181
A.4.2.1 -	Acções permanentes .....	182

A.4.2.2 -	Acções específicas de pontes ferroviárias .....	182
A.4.2.3 -	Acções naturais.....	185
A.4.2.4 -	Acções Acidentais .....	186
A.4.2.5 -	Acções durante a fase de Construção .....	188
A.4. 3 -	PROJECTO DE DURABILIDADE .....	188
A.4.3.1 -	Pormenores Construtivos .....	189
A.4.3.2 -	Controlo da formação de fissuras – Elementos críticos .....	191
A.4.3.3 -	Projectos de reforço de pontes antigas.....	192
A.4. 4 -	PRÉ-FABRICAÇÃO, CONSTRUÇÃO E MONTAGEM .....	192
<b>A.5 -</b>	<b>FASE DE SERVIÇO (VIDA ÚTIL) – PONTE EM TRELIÇA METÁLICA.....</b>	<b>195</b>
A.5. 1 -	INTRODUÇÃO .....	195
A.5. 2 -	INSPECÇÃO .....	195
A.5.2.1 -	Inspeção anual de rotina.....	196
A.5.2.2 -	Inspeção Detalhada.....	197
A.5.2.3 -	Limpeza.....	198
A.5. 3 -	DETALHES DE INSPECÇÃO POR ELEMENTOS .....	199
A.5.3.1 -	SUPERSTRUTURA .....	199
A.5.3.2 -	Treliça das Vigas Principais .....	201
A.5.3.3 -	Estrutura do tabuleiro .....	202
A.5.3.4 -	Ligações.....	202
A.5.3.5 -	Pintura .....	204
A.5.3.6 -	Apoios .....	205
A.5.3.7 -	Sistema de drenagem .....	205
A.5.3.8 -	Via férrea .....	206
A.5. 4 -	TABELAS DE RELAÇÃO CAUSA-EFEITO .....	208
A.5.4.1 -	Introdução .....	208
A.5.4.2 -	Elementos metálicos.....	208
A.5.4.3 -	Ligações metálicas .....	211
A.5.4.4 -	Aparelhos de apoio.....	213
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>215</b>	





# ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

FIGURA 1-1 – EVOLUÇÃO DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE CONSERVAÇÃO DE PONTES.....	3
FIGURA 1-2 – METODOLOGIA SEGUIDA NA ELABORAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	7
FIGURA 1-3 – FASES DO CICLO DE VIDA DE UMA PONTE (BASEADO EM: RYALL, 2001) .....	8

## CAPÍTULO 2 - SISTEMAS DE GESTÃO EXISTENTES

FIGURA 2-1 – DISTRIBUIÇÃO DE PONTES RODOVIÁRIAS POR IDADE /OECD, 1992 (SAMCO, FINAL REPORT 2006).....	12
FIGURA 2-2 – ORGANIZAÇÃO GERAL DO SISTEMA DE GESTÃO DANBRO – DINAMARCA.....	14
FIGURA 2-3 - ORGANIZAÇÃO GERAL DO SISTEMA – LIGAÇÕES ENTRE ELEMENTOS (DAS, PARAG C. 1999) .....	18
FIGURA 2-4 – ORDENAÇÃO DE ACÇÕES DE CONSERVAÇÃO NO REINO UNIDO .....	21
FIGURA 2-5 – DADOS SOBRE AS PONTES GERIDAS PELA REFER (CLEMENTE, J. 2001).....	24
FIGURA 2-6 - COLAPSO DA SILVER BRIDGE, 1967 (BRIDGE INSPECTOR'S REFERENCE MANUAL, 2006) .....	35
FIGURA 2-7 - E.U.A. - DISTRIBUIÇÃO DE PONTES POR ANO DE CONSTRUÇÃO.....	39
FIGURA 2-8 – E.U.A - DISTRIBUIÇÃO DE PONTES POR TIPO DE DEFICIÊNCIA .....	39
FIGURA 2-9 – E.U.A. – DEFICIÊNCIAS POR TIPO DE MATERIAL.....	40
FIGURA 2-10 – COMPOSIÇÃO DO ÍNDICE DE EFICIÊNCIA FEDERAL (REPORT NO. FHWA-PD-96-001, 1995).....	41
FIGURA 2-11 - ORGANIZAÇÃO DO SISTEMA PONTIS.....	43

## CAPÍTULO 3 - GESTÃO DE PONTES

FIGURA 3-1 CICLO DE VIDA DE UMA PONTE (BASEADO EM: RYALL, 2001) .....	58
FIGURA 3-2 – FLUXO DE ACTUAÇÃO E DE INFORMAÇÃO NUM SISTEMA DE GESTÃO DE PONTES.....	60

## CAPÍTULO 4 - PREVENÇÃO EM FASE DE CONCEPÇÃO, PROJECTO E CONSTRUÇÃO

FIGURA 4-1 – AUMENTO DE FUNCIONALIDADE - VIA FERROVIÁRIA NA PONTE 25 DE ABRIL.....	71
FIGURA 4-2 – PORMENORES CONSTRUTIVOS QUE FACILITAM A EXECUÇÃO DE ACÇÕES DE MANUTENÇÃO .....	78
FIGURA 4-3 – PASSADIÇO PARA MANUTENÇÃO E INSPECÇÃO .....	79

## CAPÍTULO 5 - FASE DE SERVIÇO (VIDA ÚTIL)

FIGURA 5-1 – INSPECÇÃO DETALHADA.....	81
FIGURA 5-2 – EQUIPAMENTOS DE AUXÍLIO VISUAL NUMA INSPECÇÃO.....	85
FIGURA 5-3 – FERRAMENTAS DE LIMPEZA E AUXÍLIO NA INSPECÇÃO .....	87
FIGURA 5-4 – FERRAMENTAS DE INSPECÇÃO .....	87
FIGURA 5-5 – FERRAMENTAS DE MEDIÇÃO.....	87
FIGURA 5-6 – COMPUTADOR PORTÁTIL - SUPORTE À INSPECÇÃO .....	87
FIGURA 5-7 – APARELHO ROTATIVO DE PERCUSSÃO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ANOMALIAS NO BETÃO .....	87
FIGURA 5-8 – EQUIPAMENTO DE PROTECÇÃO INDIVIDUAL.....	87

FIGURA 5-9 - INSPECÇÃO PRINCIPAL (À DISTÂNCIA DE UM BRAÇO DOS ELEMENTOS).....	88
FIGURA 5-10 – INSPECÇÃO COM VEÍCULO DE GAIOLA BASCULANTE .....	91
FIGURA 5-11 – ENSAIOS ULTRA-SÓNICOS .....	91
FIGURA 5-12 – ENSAIOS COM TINTA PENETRANTE .....	91
FIGURA 5-13 – INSPECÇÕES SUBAQUÁTICAS EM ESTAÇÕES SECAS .....	92
FIGURA 5-14 - INSPECÇÕES SUBAQUÁTICAS.....	93
FIGURA 5-15 – SENSORES DE DEFORMAÇÃO NO ARCO DA PONTE LUIZ I (COSTA, B., FÉLIX, C., FIGUEIRAS, J. 2006) .....	95
FIGURA 5-16 – RELAÇÃO CAUSA-EFEITO – AUXÍLIO NA GESTÃO DA CONSERVAÇÃO.....	96
FIGURA 5-17 - FOTOGRAFIAS DE APOIO PARA AVALIAÇÃO DE ELEMENTO METÁLICO À CORROSÃO.....	99
FIGURA 5-18 – FOTOGRAFIAS DE APOIO PARA AVALIAÇÃO DE ELEMENTO METÁLICO À FISSURAÇÃO POR FADIGA .....	99
FIGURA 5-19 – PONTE TRELIÇADA METÁLICA – EXEMPLO .....	108
FIGURA 5-20 – DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE CONSERVAÇÃO DE PONTES.....	110
FIGURA 5-21 – ÁRVORE DE DECISÃO COM DUAS OPÇÕES DE MANUTENÇÃO POR NÓ (FONTE: BRIME, 2001) .....	115

## **CAPÍTULO 6 - APOIO À DECISÃO - ESTUDO DE CENÁRIOS**

FIGURA 6-1 – ÁRVORE DE DECISÃO – MODELOS PROBABILÍSTICOS DE MARKOV (BRIME, 2001) .....	119
FIGURA 6-2 – CICLO DE ANÁLISE DE CONSERVAÇÃO AO NÍVEL DA PONTE (THOMPSON, P., SOBANJO, J. 2004).....	123
FIGURA 6-3 – EXEMPLO DE EVOLUÇÃO DOS CUSTOS DA OPÇÃO DE NADA FAZER COM O NÍVEL DE CONSERVAÇÃO (THOMPSON, P., SOBANJO, J. 2004).....	126
FIGURA 6-4 – PROCESSO DE DECISÃO NA GESTÃO DE CONSERVAÇÃO DE PONTES .....	129
FIGURA 6-5 – EXEMPLOS DE ÍNDICES DE PERFORMANCE DE VIGAS METÁLICAS (THOMPSON, PAUL 2000) .....	131

## **ANEXOS**

FIGURA A.2-1 VISTA GERAL PONTE DA PORTELA – LOUSÃ .....	157
FIGURA A.2-2 POSICIONAMENTO DO TABULEIRO RELATIVAMENTE À TRELIÇA PRINCIPAL .....	160
FIGURA A.2-3 – SUPERSTRUTURA - TIPOS DE VIGAS EM TRELIÇA .....	161
FIGURA A.2-4 - TIPOS DE APARELHOS DE APOIO .....	162
FIGURA A.2-5 - JUNTA DE DILATAÇÃO DE CARRIL (FONTE: RIBEIRO, DIOGO, 2004) .....	162
FIGURA A.3-1 - CORROSÃO NUMA PONTE METÁLICA EM TRELIÇA (BRIDGE INSPECTOR'S REFERENCE MANUAL, 2006) .....	168
FIGURA A.3-2 - PROCESSO QUÍMICO DA CORROSÃO.....	169
FIGURA A.3-3 – CORROSÃO EM ELEMENTOS METÁLICOS (BRIDGE INSPECTOR'S REFERENCE MANUAL, 2006) .....	169
FIGURA A.3-4 – DEGRADAÇÃO POR DEPOSIÇÃO DE DETRITOS E ATAQUE MICROBIANO (SUSTAINABLES BRIDGES, 2004)....	171
FIGURA A.3-5 – FISSURA NUMA LIGAÇÃO REBITADA (BRIDGE INSPECTOR'S REFERENCE MANUAL, 2006) .....	173
FIGURA A.3-6 - A) INICIAÇÃO E FASES I E II DO CRESCIMENTO DE UMA FENDA DE FADIGA. B) REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE INTRUSÕES E EXTRUSÕES. (BRANCO, C. 1999) .....	174
FIGURA A.3-7 - IMPACTO DE VEÍCULO NO TABULEIRO (BRIDGE INSPECTOR'S REFERENCE MANUAL, 2006).....	178
FIGURA A.3-8 - DISTORÇÃO POR EXPOSIÇÃO A FOGO (BRIDGE INSPECTOR'S REFERENCE MANUAL, 2006) .....	178
FIGURA A.3-9 - EVOLUÇÃO DAS ACÇÕES SOBRE AS PONTES FERROVIÁRIAS. (CALGARO, J. 1997) .....	180

FIGURA A.4-1 - ACÇÕES APLICADAS NUMA PONTE.....	182
FIGURA A.4-2 - EFEITO DE SOPRO (EUROCÓDIGO 1).....	185
FIGURA A.4-3 - ACÇÕES DE DESCARRILAMENTO (EUROCÓDIGO 1) .....	186
FIGURA A.4-4 – PORMENORES CONSTRUTIVOS FAVORÁVEIS ÀS ACÇÕES DE MANUTENÇÃO .....	189
FIGURA A.4-5 – PORMENORES A ADOPTAR PARA MINIMIZAR CONCENTRAÇÃO DE TENSÕES .....	190
FIGURA A.4-6 – PORMENORES A ADOPTAR PARA EVITAR MUDANÇA DE SECÇÃO BRUSCA .....	191
FIGURA A.4-7 - PREPARAÇÃO EM FÁBRICA – APLICAÇÃO DE SISTEMA DE PROTECÇÃO (PINTURA).....	193
FIGURA A.5-1 – DEFEITOS NA PINTURA (BRIDGE INSPECTOR'S REFERENCE MANUAL, 2006) .....	204
FIGURA A.5-2 - FOTOGRAFIAS DE APOIO PARA AVALIAÇÃO DE ELEMENTO METÁLICO À CORROSÃO .....	211
FIGURA A.5-3 – FOTOGRAFIAS DE APOIO PARA AVALIAÇÃO DE ELEMENTO METÁLICO À FISSURAÇÃO POR FADIGA .....	211
FIGURA A.5-4 - FOTOGRAFIAS DE APOIO PARA AVALIAÇÃO DE FERRUGEM EM LIGAÇÕES METÁLICAS .....	212
FIGURA A.5-5 - FOTOGRAFIAS DE APOIO À AVALIAÇÃO DE APARELHOS DE APOIO .....	214



# ÍNDICE DE TABELAS

## CAPÍTULO 2 – SISTEMAS DE GESTÃO EXISTENTES

TABELA 2-1 – ÂMBITO DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DANBRO – DINAMARCA (AUSTRROADS, 2002) .....	13
TABELA 2-2 INSPECÇÕES PREVISTAS NO SISTEMA DANBRO – DINAMARCA (NCHRP SYNTHESIS 375, 2007) .....	15
TABELA 2-3 – INSPECÇÕES EM FRANÇA .....	23
TABELA 2-4 – INSPECÇÕES A PONTES NA REFER .....	25
TABELA 2-5 – NÍVEIS DE AVALIAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DE PONTES NA REFER (CLEMENTE, J. 2001) .....	25
TABELA 2-6 - RESULTADOS A QUESTIONÁRIOS DO PROJECTO BRIME - SISTEMAS DE GESTÃO DE PONTES .....	33
TABELA 2-7 - CRONOLOGIA DA EVOLUÇÃO DA GESTÃO DE PONTES NOS E.U.A. ....	36
TABELA 2-8 - AVALIAÇÃO DO ESTADO DAS PONTES DE ACORDO COM A FHWA .....	38
TABELA 2-9 – FUNÇÕES PRINCIPAIS DO SISTEMA DE GESTÃO PONTIS .....	42
TABELA 2-10 – SISTEMAS DE INSPECÇÃO EXISTENTES .....	50
TABELA 2-11 - NÍVEIS DE AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO EM DIVERSOS SISTEMAS DE GESTÃO DE PONTES .....	52
TABELA 2-12 MODELOS DE DETERIORAÇÃO EM SISTEMAS DE GESTÃO DE PONTES .....	54

## CAPÍTULO 3 - GESTÃO DE PONTES

TABELA 3-1 – MÓDULOS DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE PONTES .....	61
TABELA 3-2 – CUSTOS DO CICLO DE VIDA DE UMA PONTE .....	64
TABELA 3-3 – RISCOS DIÁRIOS (RYALL, 2001) .....	67
TABELA 5-1 – PLANO DE INSPECÇÕES PROPOSTO .....	84

## CAPÍTULO 5 - FASE DE SERVIÇO (VIDA ÚTIL)

TABELA 5-2 – TABELAS DE RELAÇÃO CAUSA-EFEITO – FADIGA E DISTORÇÃO DE ELEMENTOS METÁLICOS .....	97
TABELA 5-3 - TABELAS DE RELAÇÃO CAUSA-EFEITO – ANOMALIA / AVALIAÇÃO / ACÇÃO DE CONSERVAÇÃO .....	98
TABELA 5-4 – PROPOSTA DE NÍVEIS DE AVALIAÇÃO DA CONSERVAÇÃO AO NÍVEL DOS ELEMENTOS DA PONTE .....	103
TABELA 5-5 – FÓRMULAS DE AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE PONTES .....	105
TABELA 5-6 – EXEMPLO DE DISTRIBUIÇÃO DE PESOS RELATIVOS POR ELEMENTOS DE UMA PONTE .....	108
TABELA 5-7 – ESTRATÉGIAS DE CONSERVAÇÃO POSSÍVEIS AO NÍVEL DA REDE VIÁRIA .....	113

## CAPÍTULO 6 - APOIO À DECISÃO - ESTUDO DE CENÁRIOS

TABELA 6-1 – TABELAS DE TRANSIÇÃO PROBABILÍSTICA DE MODELAÇÃO DE DETERIORAÇÃO (THOMPSON, P., SOBANJO, J. 2004) .....	120
TABELA 6-2 – EXEMPLO DE ANÁLISE DE CUSTOS POR CENÁRIO (THOMPSON, P., SOBANJO, J. 2004) .....	126
TABELA 6-3 – EXEMPLO DE RESULTADOS DE INSPECÇÃO .....	130
TABELA 6-4 – CALCULO DO ÍNDICE DE PERFORMANCE .....	130
TABELA 6-5 – EXEMPLO DE ACÇÕES DE CONSERVAÇÃO PREDEFINIDAS POR ELEMENTO E POR NÍVEL DE CONSERVAÇÃO .....	131

## ANEXOS

TABELA A.1-1 - INVENTÁRIO – IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO.....	146
TABELA A.1-2 – INVENTÁRIO – IDADE E TIPO DE SERVIÇO.....	147
TABELA A.1-3 – INVENTÁRIO – SERVIÇO SECUNDÁRIO NA PONTE .....	148
TABELA A.1-4 – INVENTÁRIO - SERVIÇO E OBSTÁCULOS SOB A PONTE .....	149
TABELA A.1-5 – INVENTÁRIO – RESTRIÇÕES DE SERVIÇO E CIRCULAÇÃO .....	150
TABELA A.1-6 – INVENTÁRIO – CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS PRINCIPAIS.....	151
TABELA A.1-7 – INVENTÁRIO – ESTRUTURA E MATERIAL .....	153
TABELA A.1-8 – INVENTÁRIO - PROJECTO, CONSTRUÇÃO E ÍNDICES DE CARGA .....	155
TABELA A.2-1 – EVOLUÇÃO DOS MATERIAIS USADOS NA CONSTRUÇÃO DE PONTES METÁLICAS .....	158
TABELA A.2-2 – ELEMENTOS DO TABULEIRO .....	164
TABELA A.2-3 – ELEMENTOS DA SUPERSTRUTURA .....	164
TABELA A.2-4 – ELEMENTOS - APARELHOS DE APOIO.....	165
TABELA A.2-5 – ELEMENTOS DA SUBSTRUTURA E FUNDAÇÕES .....	165
TABELA A.4-1 ESQUEMAS DE CARGA PRECONIZADOS PELO EUROCÓDIGO 1.....	183
TABELA A.4-2 - TÉCNICAS DE MELHORIA DA RESISTÊNCIA À FADIGA.....	193
TABELA A.5-1 – ELEMENTOS METÁLICOS.....	208
TABELA A.5-2 – TABELAS DE RELAÇÃO CAUSA-EFEITO – ANOMALIA / CAUSAS EM ELEMENTOS METÁLICOS.....	209
TABELA A.5-3 – TABELAS RELAÇÃO CAUSA-EFEITO – ANOMALIA / AVALIAÇÃO / ACÇÃO CONSERVAÇÃO – ELEMENTOS METÁLICOS .....	210
TABELA A.5-4 – ELEMENTOS - LIGAÇÕES METÁLICAS .....	211
TABELA A.5-5 – TABELAS RELAÇÃO CAUSA-EFEITO – ANOMALIA / CAUSAS EM LIGAÇÕES .....	212
TABELA A.5-6 - TABELAS RELAÇÃO CAUSA-EFEITO – ANOMALIA / AVALIAÇÃO / ACÇÃO DE CONSERVAÇÃO – LIGAÇÕES.....	212
TABELA A.5-7 – ELEMENTOS – APARELHOS DE APOIO .....	213
TABELA A.5-8 - TABELAS RELAÇÃO CAUSA-EFEITO – ANOMALIA / CAUSAS EM APARELHOS DE APOIO.....	213
TABELA A.5-9 - TABELAS RELAÇÃO CAUSA-EFEITO – ANOMALIA / AVALIAÇÃO / ACÇÃO CONSERVAÇÃO – AP. DE APOIO....	213

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. INTRODUÇÃO GERAL**

A conservação de pontes é um tema que tem ganho um relevo crescente em Portugal e em toda a Europa. O forte investimento registado no aumento da rede viária, fruto do aumento da circulação de pessoas e bens e o envelhecimento das pontes em serviço tem levado a sociedade a dedicar mais atenção a esse tema.

As pontes representam um papel determinante na evolução e desenvolvimento das sociedades, funcionando como um meio de comunicação entre os homens, permitindo a circulação de bens, mercadorias e serviços. A importância de uma infra-estrutura como esta pode ser medida pelo facto de ser dos primeiros alvos a atingir em períodos de guerra.

A interdição total ou parcial de circulação numa ponte tem impacto em toda a rede viária que ela serve, acarretando custos elevados para a sociedade.

Ao projectar-se uma ponte espera-se que ela desempenhe as funções para que foi concebida durante um período de vida longo (período de vida útil de 100 anos), prevendo-se para isso apenas manutenção preventiva, não devendo ser necessário realizar grandes reparações (EN1993-2, 2004).

Porém, a agressividade da envolvente ambiental, o aumento do tráfego (cargas e velocidade de circulação) e o não cumprimento do plano de manutenção previsto, tem provocado uma deterioração mais rápida das pontes e outras infra-estruturas, e a necessidade de actuar para além das actividades de manutenção preventivas.

Se a estes factos aliarmos a reduzida atenção dada normalmente em projecto à durabilidade, privilegiando a optimização da estrutura e o menor custo inicial de construção, vemos que podemos estar perante um cenário em que os custos de conservação e reabilitação crescerão exponencialmente.

Na Europa, a maioria das pontes foram reconstruídas e reabilitadas depois da II Guerra Mundial. Por esse facto, grande parte delas tem hoje mais de 40 anos e a situação começa a parecer-se com a dos Estados Unidos, em que cerca de 40% das pontes necessitam de acções de conservação (Cruz, Paulo J. S. 2006).

Em França, os montantes envolvidos com a inspeção e conservação de pontes excedem os cem milhões de euros anuais; na Alemanha o orçamento para a conservação e reabilitação de pontes aproxima-se dos quinhentos milhões de euros (Cruz, Paulo J. S. 2006).

Em Portugal, a EP - Estradas de Portugal destinou em 2006 cerca de 250 milhões de euros (32% do plano de investimentos) à conservação, dos quais cerca de 75 milhões de euros para a conservação de obras de arte (Plano e Orçamento - EP 2006). Este valor excedeu o destinado à construção de novos empreendimentos que representaram no mesmo ano 169 milhões de euros (22% do investimento total). Ou seja, assiste-se também em Portugal a uma tendência verificada em toda a Europa em que os custos de conservação excedem nalguns casos os custos com a construção de novas infra-estruturas.

Nos últimos 15 anos a estratégia de desenvolvimento em Portugal assentou na criação de uma rede infra-estruturas de transporte moderna, com especial destaque para as infra-estruturas rodoviárias e ferroviárias. Esta aposta terá que ser convenientemente assegurada e sustentada, devendo para isso desenvolver-se sistemas de gestão de redes viárias e de pontes eficientes, que assegurem a optimização da conservação destes investimentos e sua operacionalidade no período de vida para que foram dimensionados.

## **1.2. SISTEMAS DE GESTÃO DE PONTES**

A estratégia de desenvolvimento de infra-estruturas de transporte irá implicar uma correcta estratégia de conservação que garanta a sustentabilidade da utilização destes activos ao longo do período de vida para que foram dimensionados.

O aumento progressivo dos fundos destinados a manutenção e conservação de pontes devem ser aplicados de uma forma eficiente, procurando tomar as decisões baseadas em aspectos técnicos e económicos, tendo também sempre em conta os factores sociais e ambientais.

A gestão de pontes procura auxiliar no planeamento de acções de conservação e reforço de pontes, tendo como objectivo principal garantir a segurança e qualidade de



serviço e a optimização na utilização dos recursos disponíveis. Contudo, esta gestão não se deve limitar à fase de serviço da ponte, devendo surgir o mais cedo possível no processo, preferencialmente ainda na fase de concepção e projecto.

Em diversos países têm vindo a surgir ferramentas de auxílio a esta gestão. Os sistemas de gestão de pontes são ferramentas cada vez mais desenvolvidas, fruto da evolução dos computadores e da sua capacidade de processamento. Um sistema de gestão de pontes é normalmente composto por 3 módulos base:

- Base de dados
- Inspeção e avaliação
- Apoio à decisão e gestão

Estes sistemas devem permitir ao gestor tomar decisões baseadas na informação recolhida durante as inspeções relativas ao estado de conservação das pontes, utilizando-as para construir cenários de actuação e prever o nível de conservação futuro de cada elemento (Figura 1-1).

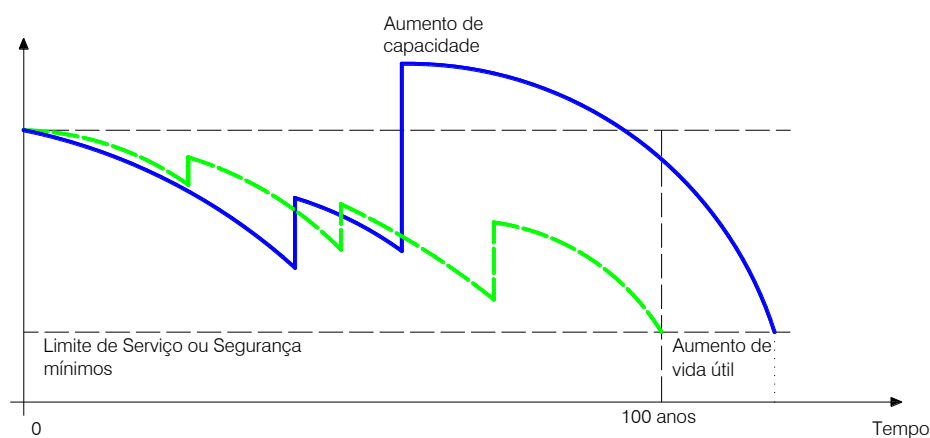


Figura 1-1 – Evolução de diferentes estratégias de conservação de pontes

A previsão é feita através de modelos de previsão da deterioração futura dos elementos (existem modelos determinísticos, baseados numa taxa de degradação prevista ou modelos probabilísticos baseados no estado actual do elemento e na probabilidade de uma taxa de deterioração predeterminada ocorrer) e modelos de custos que tenham em conta uma análise de custos ao longo do ciclo de vida das pontes.

A decisão deve ser tomada avaliando se compensa mais realizar já ou atrasar acções de conservação, tendo em conta as vantagens e risco inerentes (não actuando pode correr-se o risco de o elemento se degradar em demasia, sendo necessária posteriormente uma reparação maior e mais onerosa).

O caminho para se chegar a estes sistemas inteligentes de suporte à decisão não é fácil e implica tomar passos seguros e sequenciados. Os sistemas de gestão desenvolvem-se normalmente nas seguintes fases (Cruz, Paulo J. S. 2006):

1. Definição de elementos padrão numa ponte
2. Inventariação e criação de uma base de dados de pontes e elementos nelas existentes.
3. Identificação de anomalias tipo de cada elemento e desenvolvimento de modelos que permitam prever a deterioração futura.
4. Desenvolvimento de acções de manutenção e conservação comuns para cada elemento e tipo de anomalia.
5. Desenvolvimento de modelos de optimização e suporte à decisão.

O facto da regulamentação portuguesa e europeia ser muito completa no que se refere à concepção e dimensionamento de estruturas mas praticamente omissa na definição de normas de manutenção e gestão de pontes tem levado a que cada entidade viária tenha desenvolvido os seus próprios sistemas de gestão de pontes. Em Portugal e na maioria dos países europeus, as principais entidades gestoras de redes viárias estão numa fase de inventariação e criação de uma base de dados dos elementos e pontes, sendo importante começar a pensar no desenvolvimento de modelos de previsão e de suporte à decisão pois só assim se conseguirá optimizar a utilização dos recursos disponíveis.

### **1.3. OBJECTIVOS E METODOLOGIA**

#### **1.3.1. OBJECTIVOS**

O objectivo do presente trabalho é contribuir para o desenvolvimento da gestão de pontes em Portugal, procurando realçar a importância que cada etapa do ciclo de vida tem na optimização da durabilidade e desenvolvimento de estratégias de conservação.

A escassez de recursos obriga a que seja feita uma optimização das decisões de conservação e gestão de pontes, procurando-se nesta dissertação propor metodologias e processos de gestão de pontes a adoptar em Portugal baseados no que se faz noutros países, particularmente nos Estados Unidos.

A gestão do ciclo de vida será dividida em duas fases:

1. Fase de concepção, projecto e construção
2. Fase de serviço (vida útil)

Para cada um dos períodos serão realçados aspectos a ter em conta e formas de actuação para que ao longo do ciclo de vida se assegure a correcta e eficiente conservação destes activos. Serão desenvolvidas:

- Medidas a tomar em fase de concepção, projecto e construção que assegurem a durabilidade da ponte e dos seus elementos.
- Medidas de monitorização e inspecção que possibilitem a recolha de informação de qualidade no que se refere ao estado de conservação da ponte.
- Ferramentas de auxílio à identificação de anomalias e suas causas para cada elemento. Estas ferramentas são evolutivas e permitirão aperfeiçoar futuros projectos e modelos de previsão da deterioração.
- Técnicas de avaliação e auxílio à tomada de decisão de acções relativas à conservação da ponte.

O âmbito do presente trabalho aplica-se à gestão de pontes, independentemente do tipo de tráfego que nela circula (rodoviário, ferroviário ou de via mista). Em anexo é feito um estudo mais detalhado de um tipo de ponte metálica de via ferroviária, pormenorizando o tipo de medidas a adoptar para a sua conservação.

### **1.3.2. METODOLOGIA**

Para a execução da dissertação foram contactados especialistas na matéria e entidades gestoras de redes viárias, procurando aferir de que forma se desenvolve a gestão e conservação de pontes em Portugal e que desenvolvimentos futuros se pretendem atingir. Foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica onde foram identificados os

sistemas de gestão mais desenvolvidos nos E.U.A e Europa e realizada uma análise das principais vantagens de cada um.

O trabalho seguiu a seguinte sequência lógica:

- Identificar quais são actualmente os sistemas de gestão de pontes mais desenvolvidos nos Estados Unidos, em Portugal e em alguns países europeus.
- Descrever a estrutura de um sistema de gestão de pontes, desenvolvendo uma base de dados tipo para inventariação.
- Analisar quais os custos que ocorrem na gestão de pontes, descrevendo a ferramenta de análise de custos do ciclo de vida.
- Desenvolver um conjunto de medidas a adoptar na fase de concepção, projecto e construção que visam aumentar a durabilidade das pontes.
- Descrever procedimentos a adoptar na inspecção que assegurem a recolha de informação com qualidade, relativa ao nível de conservação da ponte.
- Descrever um método de avaliação do nível de conservação da ponte e dos seus elementos, baseado numa análise de sistemas existentes.
- Definir tipos de estratégia de conservação, diferenciando aspectos a ter em conta numa análise ao nível de uma ponte isolada ou de toda a rede viária.
- Desenvolver e descrever uma metodologia de tomada de decisão assente na análise multi-objectivo desenvolvida no âmbito de um programa norte-americano intitulado *“Multi-Objective Optimization for Bridge Management Systems (NCHRP) Report 590”*.
- Aplicar a análise desenvolvida a um caso prático, tendo escolhido uma ponte em treliça metálica com via ferroviária.

Na figura seguinte esquematiza-se a metodologia seguida.

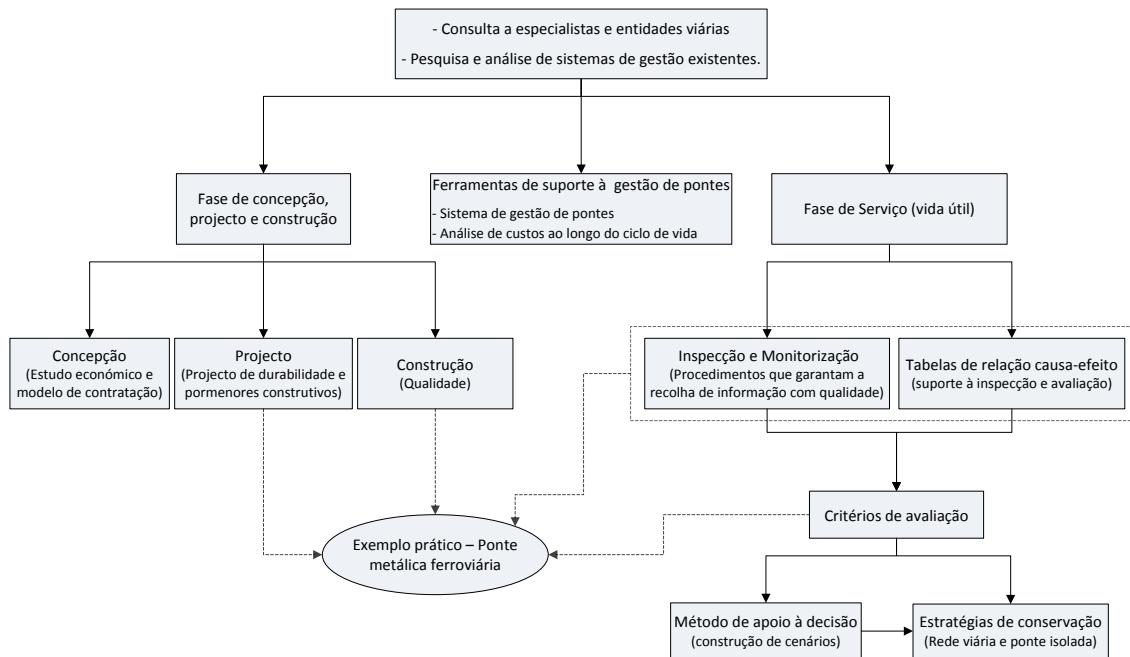


Figura 1-2 – Metodologia seguida na elaboração da dissertação

## 1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Após o capítulo 1 de introdução, no qual se procurou contextualizar o âmbito em que esta dissertação se insere e os objectivos, a dissertação vai ser dividida nos capítulos a seguir apresentados.

### 1.4.1. CAPÍTULO 2 - SISTEMAS DE GESTÃO EXISTENTES

Neste capítulo vão ser descritos os principais sistemas de gestão de pontes existentes na Europa e nos Estados Unidos da América.

Nos sistemas de gestão existentes na Europa referir-se-ão os da Dinamarca, Finlândia, Suíça, França e Reino Unido. Será também apresentado o projecto BRIME e *Sustainable Briges*, financiados pela Comissão Europeia.

Será dado um relevo especial à situação portuguesa nesta matéria, referindo-se o que se faz na REFER e na EP - Estradas de Portugal. Será descrito o sistema de gestão de obras de arte GOA da Betar – Consultores, Lda. e uma proposta de um sistema de gestão de obras de arte em betão (Brito, J. 1992).

Nos sistemas de gestão dos Estados Unidos, será descrita a estratégia nacional definida para a gestão de pontes e os casos particulares dos sistemas comerciais Pontis e Bridgit, bem como dos sistemas utilizados na Pensilvânia e Califórnia.

### 1.4.2. CAPÍTULO 3 - GESTÃO DE PONTES

A gestão de pontes inicia-se na fase de concepção e termina com o fim da vida útil da ponte. Esquemáticamente pode-se dividir a gestão do ciclo de vida das pontes em duas fases:

1. Concepção, Projecto e Construção – Gestão preventiva
2. Vida útil – Gestão preventiva (Inspeção e Manutenção) e reactiva (Reparação)

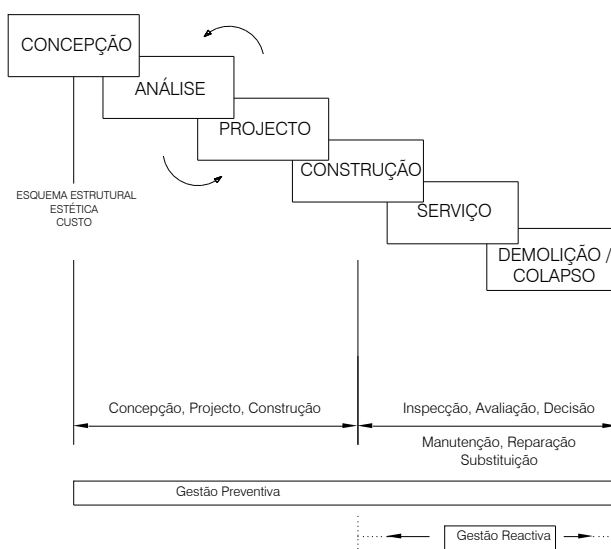


Figura 1-3 – Fases do ciclo de vida de uma ponte (baseado em: Ryall, 2001)

Neste capítulo serão descritas as fases do processo de gestão de pontes e apresentado um esquema do que será um sistema de gestão de pontes de suporte ao gestor de pontes na tomada de decisão.

A estrutura que o sistema deverá ter deve assentar num princípio de suporte à decisão, auxiliando o gestor através de um inventário rigoroso e históricos de inspeção. O sistema deverá permitir simular vários cenários de actuação ao nível da conservação de pontes, baseado em Análises custo-benefício de cada opção.

Serão aqui descritos os principais custos que actuam na gestão de pontes e a forma de os analisar. Uma vez que estes ocorrem em períodos de vida diferentes é importante utilizar uma ferramenta de análise financeira que os actualize para preços correntes.

Os capítulos seguintes serão o desenvolvimento mais exaustivo dos dois períodos referidos anteriormente, sendo apresentadas para cada um os procedimentos a ter em conta para uma boa execução de trabalhos.

### **1.4.3. CAPÍTULO 4 – PREVENÇÃO NA FASE DE CONCEPÇÃO, PROJECTO E CONSTRUÇÃO**

Neste capítulo descrevem-se medidas a adoptar em fase de concepção, projecto e construção que visam assegurar um bom desempenho da ponte na sua vida útil. Esta fase é de crucial importância, devendo o gestor viário acompanhar a fase de concepção e projecto desde o início.

#### **i. Concepção**

Na fase de concepção deverá ser estimado com o maior rigor o investimento necessário para todo o ciclo de vida da ponte, desde a concepção até à sua substituição. A análise deverá ser feita de uma forma global, procurando otimizar a solução projectada que melhor se adequa ao meio envolvente e ao que serão os requisitos funcionais da ponte.

#### **ii. Projecto e Construção**

Uma ponte é concebida para uma vida útil de 100 anos (EN1993-2, 2004). Qualquer que seja o tipo de construção ou o material adoptado, mais cedo ou mais tarde os efeitos da deterioração irão surgir. Na fase de projecto é importante tomar opções que tenham em conta factores que interferem com a durabilidade da estrutura.

Na construção deve-se atender a aspectos relacionados com a garantia da qualidade.

### **1.4.4. CAPÍTULO 5 – FASE DE SERVIÇO (VIDA ÚTIL)**

#### **i. Inspeção e Avaliação**

Para que se assegure longevidade e cumprimento de níveis de segurança e funcionalidade numa ponte é importante o cumprimento de um plano de inspeções e acções de manutenção periódicas.

Serão definidas as inspecções tipo a implementar baseadas no que já existe em alguns países. Serão ainda definidos critérios de avaliação que permitam construir análises económicas eficientes na tomada de decisão.

Será ainda descrito um modelo de tabelas de correlação entre causas e anomalias de apoio à inspecção e avaliação.

## **ii. Estratégia de Conservação - manutenção e reparação**

Far-se-á a descrição do que se consideram serem acções de manutenção e reparação, definindo aqui como otimizar estratégias de conservação ao nível da rede viária e ao nível específico de cada ponte.

### **1.4.5. CAPÍTULO 6 – APOIO À DECISÃO – ESTUDO DE CENÁRIOS**

Neste capítulo será desenvolvida um esquema de apoio à decisão e definição de estratégias de conservação. As limitações orçamentais destinadas à conservação obrigam a que se adoptem decisões que visam otimizar as acções de conservação, estudando diferentes alternativas.

A decisão deve assentar numa análise técnica e económica que procure prever com o maior rigor possível a deterioração esperada da ponte e os custos incorridos para várias acções de conservação possíveis (cenários de actuação). Vai ser utilizada uma análise custo-benefício que permita comparar os benefícios de um cenário em relação ao outro e descritos o que são actualmente os modelos de previsão da deterioração futura mais utilizados na gestão de ponte.

### **1.4.6. CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES**

Neste capítulo apresentam-se as conclusões gerais da dissertação, os contributos para a gestão de pontes em Portugal e propõem-se pontos a desenvolver no futuro.



## 2. SISTEMAS DE GESTÃO EXISTENTES

### 2.1. INTRODUÇÃO

Um sistema de gestão de pontes é um sistema que procura auxiliar o gestor de pontes no planeamento de acções de conservação e reforço, tendo como objectivo principal garantir a segurança e qualidade de serviço e a optimização na utilização dos recursos disponíveis.

Com o desenvolvimento nos anos 80 de computadores com grande capacidade de processamento de informação e de cálculo começaram a surgir sistemas de gestão de pontes inteligentes com sistemas de optimização e de decisão. O recurso a estes novos meios informáticos permitiu a criação de base de dados muito completas e com uma grande facilidade de consulta quando comparados com os tradicionais arquivos. A criação de múltiplos cenários de deterioração e de previsão passou a ser possível com a utilização destas novas ferramentas de cálculo.

Para a elaboração deste capítulo reuniu-se um conjunto de referências sobre o assunto em várias publicações e na Internet. Serão descritos os sistemas de gestão de pontes que neste momento mais se encontram desenvolvidos no que diz respeito à sistematização e utilização de meios informáticos.

O capítulo vai ser dividido em duas partes: os sistemas de gestão europeus e os norte-americanos.

Nos sistemas de gestão existentes na Europa referir-se-ão os da Dinamarca, Finlândia, Suíça, França e Reino Unido. Será também apresentado o projecto BRIME e *Sustainable bridges*, financiados pela Comissão Europeia. Será dado um relevo especial à situação portuguesa nesta matéria, referindo-se o que se faz na REFER e na EP-Estradas de Portugal. Será descrito o sistema de gestão de obras de arte GOA da Betar – Consultores, Lda. e uma proposta de um sistema de gestão de obras de arte em betão (Brito, J. 1992).

Nos sistemas de gestão dos Estados Unidos, será descrita a estratégia nacional definida para a gestão de pontes e os casos particulares dos sistemas comerciais Pontis e Bridgit, bem como dos sistemas utilizados na Pensilvânia e Califórnia.

Saliente-se que a descrição de alguns sistemas foi feita no início do desenvolvimento desta dissertação pelo que já poderão ter ocorrido algumas alterações. Além disso, a pesquisa bibliográfica apresenta mais sistemas relacionados com entidades rodoviárias por uma questão de maior disponibilidade de informação por parte destas entidades.

No fim do capítulo serão apresentados quadros comparativos dos diversos sistemas descritos e de outros sistemas de gestão não apresentados mas que merecem a análise de alguns dos pontos mais importantes para a investigação que se pretende desenvolver.

## 2.2. EUROPA

A rede de transportes representa um papel importantíssimo no desenvolvimento económico e social europeu. Tem tido um papel crucial no crescimento económico e prosperidade e desempenha um papel importante na vida quotidiana dos cidadãos da Europa, permitindo o movimento rápido, fácil e seguro de pessoas e bens.

Nos últimos 50 anos, foi realizado um grande investimento na construção de redes viárias na Europa para fazer frente ao rápido crescimento de tráfego. Actualmente, esses investimentos já estão na sua grande maioria a terminar e a atenção redirecciona-se agora para a manutenção do grande número de pontes existentes (BRIME, 2001).

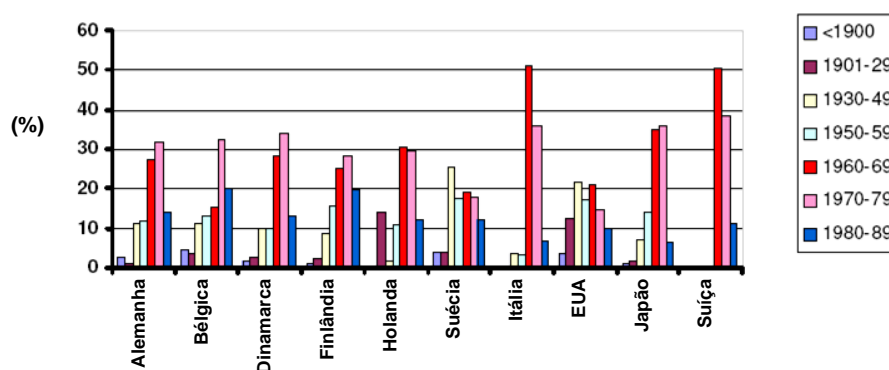


Figura 2-1 – Distribuição de pontes rodoviárias por idade /OECD, 1992 (SAMCO, Final Report 2006)

As técnicas de construção e projectos pouco focalizados em aspectos de durabilidade, aliadas ao crescente volume de tráfego e de carga circulante (pontes sobre acção de solicitações superiores às de dimensionamento), agravaram a deterioração das pontes,

diminuindo o seu período de vida útil. Surgiu assim a necessidade de se elaborarem estudos com vista à gestão e manutenção de pontes.

## 2.2.1. DINAMARCA

### 2.2.1.1. Introdução

O sistema de gestão e manutenção de pontes em funcionamento na Dinamarca, o sistema DANBRO, foi desenvolvido por iniciativa dos caminhos-de-ferro dinamarqueses. Este sistema tem a seu cargo a gestão de 2500 obras de arte na Dinamarca. Este sistema foi também adoptado na Tailândia onde gere cerca de 10000 pontes (Das, Parag C. 1999).

Uma das principais características deste sistema é a abrangência de utilização a vários níveis.

Nível de Gestão	Necessidades	Actuação do sistema
Administração	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definição de estratégia de manutenção de pontes.</li> <li>- Orçamento geral para o sistema viário</li> <li>- Visão global de todo o sistema viário</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indicador do nível de conservação das pontes</li> <li>- Previsão orçamental para um período de 5 anos.</li> </ul>
Planeamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orçamento de Gestão</li> <li>- Definição de procedimentos de reparação e escolha de materiais de substituição</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimização das tarefas de reparação e manutenção para que se ajustem ao orçamento a elas destinadas.</li> </ul>
Administrativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calendarização de Inspeções,</li> <li>- Gestão de transportes especiais.</li> <li>- Controlo de trabalhos de manutenção e orçamentos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dados gerais da ponte (local, tipo de estrutura, importância na rede viária, etc.)</li> <li>- Dados técnicos sobre a construção</li> <li>- Dados recolhidos na inspeção das pontes</li> <li>- Estratégias de reparação de pontes</li> <li>- Custos de construção (substituição) e de reparação das pontes e dos seus elementos.</li> <li>- Dados sobre deterioração: localização, tipo e grau de desenvolvimento</li> </ul>
Manutenção preventiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análise de custos de actuação, quantificação de trabalhos e custos de manutenção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calendariza trabalhos de manutenção de rotina e periódicos.</li> <li>- Controla as quantidades e custos relacionados com os trabalhos de manutenção.</li> <li>- Monitoriza a qualidade, custos e vida útil dos materiais usados na manutenção.</li> </ul>

Tabela 2-1 – Âmbito de utilização do sistema de gestão Danbro – Dinamarca (Austroads, 2002)

### 2.2.1.2. Organização do Sistema

Na figura seguinte é descrita a organização geral do sistema.

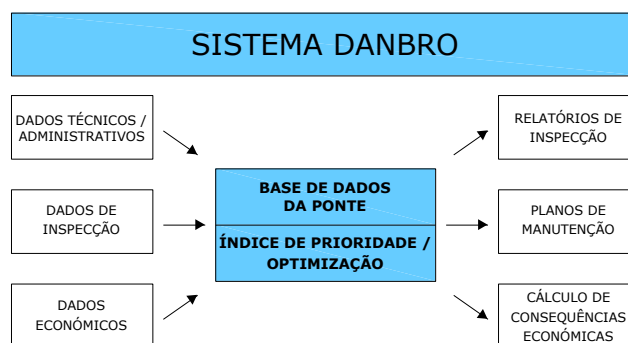


Figura 2-2 – Organização geral do sistema de gestão Danbro – Dinamarca

#### i. Módulo de inventariação e base de dados

A documentação relacionada com o dimensionamento e a construção das pontes é toda arquivada em papel e microfilme. A informação necessária à gestão diária das pontes está acessível no módulo de inventariação e contém:

- Informação geral – estrada em que se insere a ponte, designação da ponte, etc.
- Informações técnicas – tipo de ponte e de estrutura, dimensões, materiais, etc.
- Informações da envolvente da ponte – rios, altura livre superior e/ou inferior, classe de ponte (capacidade de carga), tipo de estrada que serve, etc.
- Registos de inspecção – registo de resultados de inspecção.
- Registo Cronológico – lista de eventos importantes que tenham decorrido na vida da ponte tais como construção, acidentes, trabalhos de reabilitação, etc.
- Localização geográfica por mapa electrónico (indicação no visor).

Recentemente foi criado o DANBROWeb, que permite a consulta da informação através da Internet (Samco Final report 2006).

#### ii. Módulo de inspecção

O sistema considera três tipos de inspecções, descritos e normalizados nos respectivos manuais. Na tabela seguinte descrevem-se resumidamente estes tipos de inspecções.

Inspeção	Descrição	Informação recolhida e resultados
Inspeções e manutenção de rotina	Inspeções de rotina realizadas por pessoal local	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definição dos trabalhos de manutenção de rotina necessários à manutenção em boas condições de serviço da ponte.</li> <li>- Definição de um orçamento dos trabalhos a executar com a ajuda do catálogo de preços unitários pelo engenheiro responsável.</li> </ul>
Inspeções Principais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspeção visual de todas as partes visíveis da ponte. A ponte é dividida em quinze elementos, um do qual é a própria ponte.</li> <li>- Realizada em períodos de 1 a 6 anos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Registo do estado da ponte (Índices de 0: “nenhum dano” a 5: “possível rotura da ponte ou do seu elemento”)</li> <li>- Estimativas de custos para todos os programas de reabilitação com 5 anos de antecedência.</li> <li>- Lista de pontes a serem inspeccionadas em cada ano</li> <li>- Lista de pontes que requerem uma inspeção especial</li> <li>- Registos que avaliem a eficácia da manutenção de rotina</li> <li>- Definição da data da próxima inspeção a ser feita à ponte (se é principal ou especial). Estado de deterioração elevado – no máximo dentro de 1 ano. Se a ponte é nova ou está em bom estado o intervalo pode chegar a 6 anos</li> </ul>
Inspeções especiais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizada por técnicos altamente qualificados</li> <li>- Ensaios destrutivos e não destrutivos “<i>in situ</i>” e em laboratório.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- São elaboradas duas ou três estratégias de reparação para um período de 25 anos e avaliadas as suas consequências económicas (custos directos e indirectos para a sociedade).</li> <li>- Avaliadas as consequências de um adiamento de 5 anos na reparação da ponte.</li> </ul>

Tabela 2-2 Inspeções previstas no sistema Danbro – Dinamarca (NCHRP Synthesis 375, 2007)

### iii. Módulo de optimização dos trabalhos de reabilitação

A análise económica levada a cabo na inspeção especial serve de base ao processo de optimização. A estes dados somam-se o valor dos orçamentos previstos para os próximos 5 anos. Através de um processo iterativo o programa encontra um conjunto de estratégias a seguir – um para cada ponte – segundo os seguintes critérios:

- Estimativa de custos totais é inferior ao orçamento para os próximos 5 anos.
- Os custos para os utilizadores deverão ser minimizados.

Alem deste estudo económico tem-se em conta os factores não quantificáveis como são os aspectos ambientais, históricos, visuais, patrimoniais.

### iv. Orçamentação a longo prazo

Para cada ponte é registado o ano de construção, o tipo de estrutura e dimensão de todos os elementos. Baseando-se nestes dados, o programa estima um orçamento futuro total a atribuir a cada ponte. A incerteza deste cálculo é grande mas o objectivo deste módulo é de servir de indicador de custos futuros na construção de uma ponte ou na previsão do orçamento a atribuir a cada departamento.

#### **v. Catálogo de preços**

Este módulo foi desenvolvido para dar auxílio na estimativa de custos de reparação e manutenção. É constituído por preços unitários das mais diversas tarefas de reabilitação e reparação, baseados em propostas de orçamento apresentadas por empresas de construção.

#### **vi. Gestão de transportes especiais**

A gestão de transportes especiais na Dinamarca é feita através da atribuição da classe de carga a cada ponte e a cada tipo de veículo. O DANBRO auxilia na definição de circuitos de transportes especiais.

### **2.2.1.3. Modo de Actuação**

O modo de actuação do sistema pode ser dividido em três etapas de funcionamento:

#### **i. Introdução de Dados no sistema**

O sistema é alimentado por três tipos de dados:

- Dados Técnicos / Administrativos – dados sobre a ponte e a estrutura, localização, dimensões, ano de construção, formas de construção e materiais.
- Dados de Inspeção – dados que descrevem o estado actual da ponte, recolhidos de registos de inspecções.
- Informação técnica e económica relativa a soluções de reparação e respectivos preços unitários.

#### **ii. Base de dados e Módulo de Cálculo**

Todos os dados são registados na base de dados deste sistema. A base de dados e o módulo de cálculo é usado para elaborar tabelas de índices de prioridade e optimização de processos conservação. Não são utilizados modelos de previsão da deterioração.

### **iii. Resultados**

O sistema produz relatórios de estado das pontes, define planos de manutenção (pontes a reparar e processos de reparação) e efectua cálculos das consequências económicas para vários cenários de actuação.

#### **2.2.1.4. O sistema DANBRO em Portugal**

A empresa responsável pelo sistema DANBRO efectuou um projecto-piloto de um sistema de gestão de pontes para Portugal em 1992. O estudo solicitado pela antiga Junta Autónoma das Estradas (J.A.E) produziu um relatório com recomendações e modificações a realizar ao sistema DANBRO para se adaptar à realidade portuguesa (Danish Road Directorate, 15-08-2007).

#### **2.2.2. FINLÂNDIA**

##### **2.2.2.1. Introdução**

A gestora rodoviária finlandesa criou um sistema de gestão que lhe permitisse efectuar planeamentos de trabalhos e programas de investimentos a longo prazo da sua rede viária, bem como que assistisse os seus engenheiros na preparação anual dos trabalhos de inspecção e manutenção. O desenvolvimento do sistema iniciou-se em 1986, tendo a seu cargo 13354 pontes e 2757 passagens inferiores (Das, Parag C. 1999).

##### **2.2.2.2. Organização do Sistema**

O sistema de gestão assenta numa base de dados permanentemente actualizada pelos dados recolhidos em inspecções e avaliação dos danos observados. Esta informação está guardada juntamente com a informação de carácter geral (descrição estrutural, características gerais, etc.), com os dados de tráfego e com as intervenções de reparação já efectuadas bem como os custos a elas associados.

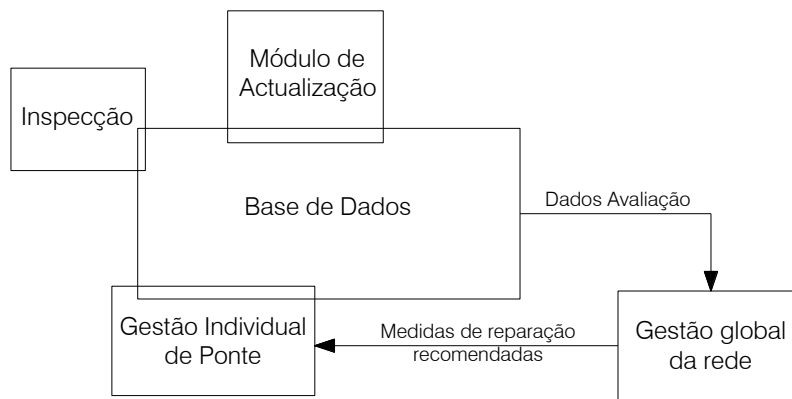


Figura 2-3 - Organização geral do sistema – ligações entre elementos (Das, Parag C. 1999)

A gestão é realizada a dois níveis:

- Gestão global da rede viária – procura atingir um ponto óptimo de equilíbrio entre os fundos que se aplicam na manutenção e o cumprimento dos requisitos de segurança e de serviço, utilizando modelos de previsão de deterioração probabilísticos.
- Gestão Individual de uma ponte - a avaliação de uma ponte é realizada pela análise dos dados recolhidos numa inspeção. São avaliados todos os elementos da ponte, relativamente a danos na superfície, danos estruturais, entrada de água, etc.

### 2.2.2.3. Análise da deterioração das pontes e tipos de reparação

A recolha de informação nas inspeções serve para criar um modelo de deterioração das pontes ao longo da vida útil. Como ainda não foi reunida informação suficiente utilizam-se estudos de especialistas para modelar esse comportamento.

Para cada dano verificado numa inspeção regista-se a gravidade, extensão e localização. A gravidade é classificada de 0 (nenhum dano) a 4 (gravoso), de acordo com as regras existentes no Manual Finlandês de Inspeções. Neste manual estão descritos os tipos de danos que se poderão verificar e recomendam-se tipos de reparação consoante a gravidade das deficiências e o tipo de estrutura. Estas técnicas de reparação são classificadas de A (tratamentos superficiais) a D (grandes reparações), a que estão associados custos.



### i. Índice de Reparação

Este índice de reparação permite a ordenação das pontes consoante a maior ou menor prioridade a reparar. Tem em conta a avaliação estrutural de cada um dos componentes da ponte (EC), a classe de deficiências (DCL) e a urgência de reparação (UCL).

Este índice é calculado para todas as deficiências, separando a deficiência mais gravosa das outras (estas são multiplicadas por um factor de redução). Assim:

$$RI = \text{Max}_i (EC_i \times DCL_i \times UCL_i) + \gamma \left[ \sum_{j, j \neq \text{max}} (EC_j \times DCL_j \times UCL_j) \right] \quad (\text{Eq. 2.1})$$

### ii. Pontes de Referência

Foram seleccionadas 120 pontes para servir de estudo da durabilidade ao longo da vida útil. Este grupo de pontes inclui pontes com vários tipos de materiais, idades e estado, distribuídas pelo país. As observações e os estudos realizados permitem melhorar o modelo de deterioração no sistema de gestão.

#### 2.2.3. SUÍÇA

Na Suíça foi desenvolvido um sistema de gestão de pontes denominado KUBA-MS (Donzel, M., Hajdin, R., 2000).

Neste sistema, a avaliação é feita ao nível dos elementos da estrutura, catalogando-os de acordo com elementos tipo existentes num catálogo. Na fase de avaliação, estes elementos são divididos em segmentos, nomeadamente em função da geometria, dimensão, função estrutural e exposição ambiental predominante.

Durante uma inspecção, avalia-se o seu estado numa escala de 5 estados de conservação, de bom estado (sem danos) a alarmante (necessária acção urgente).

São usados modelos de deterioração probabilísticos, obtidas por tratamento estatístico de resultados de anteriores inspecções.

Este sistema possui um catálogo de acções de reparação e manutenção para cada tipo de anomalia detectada, bem como o custo unitário médio de reparação (ponderado de anteriores reparações).

O modelo de optimização usado neste sistema utiliza uma análise incremental custo-benefício. Esta análise ajuda a definir as pontes que necessitam de intervenção prioritária, definindo-se assim o plano de trabalhos de manutenção e reparação.

#### **2.2.4. REINO UNIDO**

A gestão das cerca de 150.000 pontes no Reino Unido pertence ao Departamento de Ambiente, Transporte e das Regiões. Os procedimentos de manutenção correntemente em utilização foram criados há já alguns anos, bem como a base de dados denominada NATS (Ryall, 2001).

Recentemente foi desenvolvido um sistema de gestão denominado HiSMIS (*Highway Structures Management Information System*). Será dado realce apenas aos módulos relacionados com a estratégia de conservação e de estudo de custos para o utilizador.

##### **2.2.4.1. Plano de Conservação**

O planeamento das acções de conservação é feito para um período de 30 anos. Este processo contém três passos:

1. Plano estratégico – define-se um orçamento de acções de manutenção e outro para possíveis acções de reabilitação para um período de 30 anos. Este orçamento tem em conta um nível de conservação mínimo para cada tipo de elemento que define a fronteira entre acções de manutenção (acima desse nível) e reparação (abaixo desse nível).
2. Criação de listas de acções de conservação a tomar para cada ano e para cada ponte. Estas acções são definidas por técnicos experientes, sendo que a ordenação das acções é a do menor custo para cada ponte.

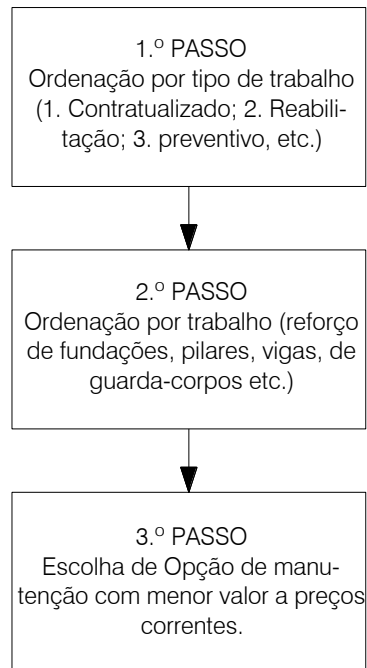


Figura 2-4 – Ordenação de acções de conservação no Reino Unido

3. Programa de avaliação – este programa assegura que as estruturas em risco são inspeccionadas na altura certa e que as acções de manutenção são tomadas na devida altura. Este plano é uma forma de evitar grandes desvios ao plano definido no primeiro passo.

#### 2.2.4.2. Sistema Quadro – custos de utilizador

No Reino Unido, o programa Quadro está a ser usado para estimar os custos de atraso para os utilizadores. Utilizando estudos de tráfego, estima os custos por atraso (tempo), os custos de operacionalidade para as viaturas (combustíveis, manutenção, etc.) e os custos por acidente. Os dois primeiros têm em conta os diferentes tempos de percurso e o custo a ele associado para uma situação normal (sem restrições de circulação) e para uma situação em que existem restrições de circulação ou de carga (formação de filas de trânsito, necessidade de desvios de trânsito, etc.). Os custos devidos a acidentes têm em conta o tipo de estrada e o local.

Num estudo realizado no reino Unido, conclui-se que a manutenção preventiva é a melhor opção pois são menos onerosas e, embora sejam realizadas mais vezes que os trabalhos de reparação ou substituição de elementos, têm um menor impacto na

circulação. Em vias com grande intensidade de tráfego, os custos devidos a atrasos representam o principal factor na estrutura de custos (Das, Parag C. 1999).

### **2.2.5. FRANÇA**

A gestão de pontes rodoviárias em França cabe ao Departamento de Estradas do Ministério dos Transportes francês (D.R.C.R-M.T.). Apesar de a França possuir uma tradição importante na área da conservação (SÉTRA e CPC), só em 1979 e após o colapso de duas pontes é que o departamento de estradas publicou um regulamento denominado “Normas Técnicas para a Vigilância e Manutenção das Obras de Arte” que decretou os procedimentos de Inspeção e de manutenção das pontes. Além da criação desta norma o Departamento de Estradas estabeleceu em 1983 um programa de Reforço de Obras de Arte existente (Calgaro, 1997).

#### **2.2.5.1. Organização da Norma**

##### **i. Manuais de Inspeção**

Na execução das Normas Técnicas preparou-se um fascículo para cada tipo de estrutura (pontes de alvenaria, betão armado, metálicas, túneis, muros de suporte, etc.) no qual são particularizados os passos a seguir durante a inspeção. Os fascículos contêm ainda um capítulo dedicado às causas e natureza das anomalias mais comuns, outro sobre manutenção e ainda um sobre reparação (Brito, 1992).

##### **ii. Dossier de Obra**

O dossier da obra deve estar organizado em três partes:

1. Concepção, construção e história: informação relacionada com a história da estrutura até à criação do estado de referência.
2. Estado de referência: informação descritiva do estado de referência. Contém telas finais, fotografias, medições, levantamentos topográficos, etc. Só deve ser alterado se a ponte sofrer uma importante alteração ou reparação.

3. Fase de serviço: guardam-se todos os programas de vigilância e manutenção e os relatórios das inspeções feitas.

O dossier de obra deve permitir ao inspector preparar uma nova inspeção ciente de todas as inspeções anteriores e dos pontos particulares a investigar (Brito, 1992).

### 2.2.5.2. Inspeções

A vigilância das pontes divide-se em vigilância corrente (aplicada a todas as estruturas) e vigilância reforçada (aplicadas apenas às estruturas nas quais foram detectadas anomalias graves). Na Tabela 2-3 descreve-se resumidamente os tipos de inspeções utilizados em França.

Nível de Inspeção	Descrição	Informação recolhida
Vigilância Corrente	Contínua: - Demora alguns minutos	- Observação Visual: flechas importantes, obstrução da drenagem, humidades, estado da sinalização da ponte e das guardas etc. - Possível detectar defeitos graves que recomendem uma inspeção detalhada excepcional
	Periódicas - Inspeções anuais - Inspeções detalhadas. Realizadas em pontes com mais de 10 metros e de 5 em 5 anos (em alguns elementos podem ser anuais).	Inspeção Anual: Inspeção de Observação. Equipamento de inspeção leve e simples. Inspeção Detalhada: Inspeção de Análise. Preparada detalhadamente, chefiadas por especialista. Uso de equipamento especial, mergulhadores, etc.
Vigilância Reforçada	Excepcional. Serve para detectar o aparecimento ou acompanhar a evolução de uma situação perigosa.	- Exame muito aprofundado da estrutura - Análise preliminar das causas possíveis - Identificação do mecanismo de deterioração e previsão da evolução. - Classificação da estrutura em 3 níveis possíveis. Quanto maior o nível mais rápido se devem tomar medidas.

Tabela 2-3 – Inspeções em França

(Fontes: Brito, J. 1992; SAMCO – Final report 2006; NCHRP Synthesis 375, 2007)

### 2.2.5.3. Manutenção / Reparação

A manutenção e reparação dividem-se em acções preventivas (manutenção) e reactivas (reparação, reforço, substituição). As primeiras dividem-se em acções correntes (limpezas, desobstrução do sistema de drenagem, etc.) que acompanham normalmente as inspecções contínuas, e as acções especializadas (substituição de apoios, pinturas metálicas, etc.). As medidas reactivas só são tomadas quando alguma ponte ou algum elemento não cumpre os requisitos mínimos de segurança ou serviço.

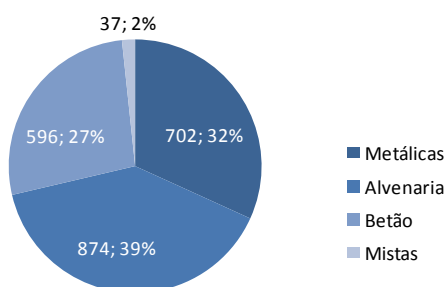
### 2.2.6. REFER - PORTUGAL

#### 2.2.6.1. Pontes ferroviárias em Portugal

O número de pontes ferroviárias actualmente da responsabilidade da REFER é de 2.209, com um comprimento total acumulado de 46,8 km. Esta contagem exclui as passagens hidráulicas de vão inferior a 2 m (Clemente, J. 2001).

Em termos de idade, é de referir a existência de 709 estruturas com mais de 100 anos, totalizando 12.535 km de comprimento (27% da extensão de pontes total), constituídas exclusivamente por estruturas metálicas e de alvenaria. As estruturas de betão armadas pré-esforçadas e mistas são as mais recentes.

Número total de pontes ferroviárias (ano 2001)



Comprimento total de pontes ferroviárias (m)

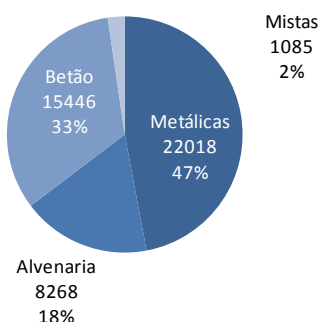


Figura 2-5 – Dados sobre as Pontes geridas pela REFER (Clemente, J. 2001)

### 2.2.6.2. Inspeção de Pontes

A REFER assegura a realização de inspeções através do seguinte plano de inspeções.

Inspeção	Periodicidade	Acções
Rotina	Anual	Realizada a toda a estrutura para detecção de anomalias evidentes
Principal	5 em 5 anos	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Reconhecimento visual de toda a estrutura</li> <li>. nivelamento batimétrico, mapeamento</li> <li>. medição de fendas</li> <li>. Relatório final com classificação de estado por componente e global</li> </ul>
Especial	Periodicidade curta ou ocasional (em pontes com avarias ou após situações climatéricas adversas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Meios de observação complementares, residentes ou pontuais.</li> <li>. Relatório final com classificação do índice de estado por componente e global</li> </ul>

Tabela 2-4 – Inspeções a pontes na REFER

A avaliação do índice de estado dos elementos e da estrutura no global segue a seguinte escala de índices de classificação:

Índice	Definição	Seguimento
0	Estado normal	
1	Existência de avarias sem importância, cujo tratamento pode ser feito mais tarde, sem inconveniente	Registo para comparação com futuras informações da mesma obra.
2	Avarias sem repercussão a curto prazo na estabilidade da estrutura, implicando a médio prazo custos de manutenção cada vez mais elevados, carecendo de intervenção quando possível.	Realização de inspeções de acompanhamento frequentes, podendo incluir a colocação de meios permanentes de medição.
3	Avarias importantes, susceptíveis de provocar, a curto prazo, restrições às circulações, carecendo de intervenção logo que possível.	Inspeção detalhada imediata, seguida de vigilância permanente e de trabalhos de reparação.
4	Avarias que impõem actuação imediata.	Trabalhos de reparação imediatos.

Tabela 2-5 – Níveis de avaliação da conservação de pontes na REFER (Clemente, J. 2001)

Toda a informação produzida nas acções de inspeção alimenta o módulo de inspeção do sistema de gestão de pontes da REFER, agregando-se aos dados constantes nos módulos técnico e administrativo, que constituem a base de dados cadastral de todas as pontes da rede.

A REFER em parceria com a Betar Consultores, Lda., implementou recentemente um módulo de apoio à decisão que, de acordo com os índices recolhidos nas inspeções, procura definir um programa de intervenções baseado na utilização de um “catálogo de anomalias tipo” e respectivos custos unitários de reparação (Ribeiro, Luís Fernando Vasconcelos, 2007).

### **2.2.6.3. Manutenção de Pontes**

#### **i. Manutenção Preventiva**

As acções que se realizam anualmente incluem limpeza geral da estrutura (tabuleiro, pilares e encontros), limpeza de vegetação, limpeza e lubrificação dos aparelhos de apoio, desobstrução e limpeza do sistema de drenagem e manutenção de equipamentos especiais existentes (êmbolos hidráulicos, roletes de guiamento, etc.).

Existem também trabalhos de manutenção preventiva que obedecem a programas anuais de execução. Incluem protecções anticorrosivas e decapagem das pontes metálicas e reparação de rebocos e refecimento de juntas em estruturas de alvenaria.

#### **ii. Manutenção reactiva**

As acções de manutenção correctiva incidem sobre obras cujas anomalias imponham a realização de reparações importantes, incluindo reforço de componentes da ponte, para no mínimo repor as condições iniciais de serviço. São planeadas com base nos relatórios obtidos pela inspecção de estruturas, sendo elaborado anualmente um programa de obras de reparação, tendo em conta as prioridades ditadas pela gravidade das anomalias e pelo tráfego que passa sobre a ponte.

### **2.2.7. EP - ESTRADAS DE PORTUGAL, E.P.E**

A responsabilidade operacional de gestão de pontes na EP – Estradas de Portugal cabe à área de Obras de Arte e Estruturas Especiais. Esta é responsável pela definição e estudo dos sistemas de pontes, obras de arte e estruturas especiais, assim como pela organização e o lançamento dos projectos, sua construção e respectivo controlo de qualidade. Na fase pós-construção, é responsável pela definição e gestão do sistema das inspecções às obras de arte, assim como pela coordenação das intervenções de conservação, reabilitação ou grande manutenção (Plano e Orçamento 2006 – EP).

Já na anterior Junta Autónoma das Estradas, criada em 1929 (antecessora da actual EP – Estradas de Portugal), existia uma longa tradição na Inspecção e Conservação de pontes. A Direcção de Serviço de Pontes foi criada em 1946, depois de uma “dotação extraordinária” criada para a construção de novas pontes e estradas.



O acidente em 2001 na Ponte Hintze Ribeiro em Entre-os-Rios (já no tempo do anterior Instituto para a Conservação e Exploração da Rede Rodoviária - ICERR), veio demonstrar que alguma coisa falhou na inspecção e conservação de pontes, o que levou à decisão de investir mais na conservação e inspecção de pontes.

#### **i. Novo plano de Conservação**

A EP-Estradas de Portugal destinou cerca de 32% do seu plano de investimento de 2006 (Plano e Orçamento 2006 EP) para a conservação (250 milhões de euros), dos quais cerca de 75 milhões de euros para a conservação das obras de arte. No mesmo ano implementaram o SGOA (Sistema de Gestão de Obras de Arte), e realizaram:

O primeiro programa anual de inspecção de rotina.

Um programa extraordinário de inspecções principais e de inspecções subaquáticas.

Ao mesmo tempo lançou o programa de Coordenação de inventariação de todas as obras de arte e os programas de reabilitação e beneficiação (PRBROA, PROA I e PAP), com o objectivo de reabilitar as pontes mais degradadas, celebrando ainda protocolos com o LNEC, Universidade do Minho e Instituto Superior Técnico com vista ao desenvolvimento de uma Estratégia de Conservação das Obras de Arte.

Já em 2007, prosseguiu a implementação do sistema de Gestão de conservação e a actualização dos inventários de obras de arte de acordo com os Manuais Específicos criados em conjunto com a Betar Consultores, Lda. Durante este ano, realizaram-se acções de formação aos colaboradores e cerca de 6500 inspecções.

Os moldes em que se realizam as inspecções e as avaliações são descritos no ponto 2.2.8.2, onde se descreve o sistema de gestão de obras de arte GOA da Betar Consultores, Lda.

#### **2.2.7.2. Modelos de apoio à Decisão**

O manual de inspecções da EP - Estradas de Portugal prevê que após a realização de uma inspecção principal, o inspector registe a data mais indicada para se efectuarem trabalho de reparação. Esta deve ser feita tendo em conta a gravidade dos danos, usando-se para isso a classificação atribuída ao Estado de Conservação dos vários componentes da Obra de Arte. Assim:

- Deve-se dar prioridade a obras de arte com classificações médias de 3 (média das classificações dos vários componentes) ou com um componente com classificação 5.
- Classificações menores que 2 - propor um período de 5 anos para a realização dos trabalhos de reparação.
- Classificações de 3 – Reparação entre 3 e 5 anos.
- Classificação entre 4 e 5 – Reparação entre 1 e 2 anos.

## **2.2.8. GOA – SISTEMA DE GESTÃO DE OBRAS DE ARTE**

### **2.2.8.1. Introdução**

A Betar Consultores, Lda. desenvolveu um software de apoio à Gestão das Obras de Arte denominado GOA, sendo utilizado na maioria das entidades portuguesas responsáveis por obras de arte. Actualmente o GOA está implementado nas seguintes entidades e concessionárias (Mendonça, Tiago 2008):

- EP – Estradas de Portugal, S.A.
- Brisa
- Vialitoral
- Aenor
- LusoScut – Beiras Litoral e Alta
- Câmaras Municipais de Lisboa e Viseu.
- REFER, EPE
- Auto-Estradas do Atlântico
- Viaexpresso
- LusoScut – Costa de Prata
- Scutvias

O sistema GOA apresenta um conjunto de módulos que interagem entre si. Os módulos do sistema completo são:

- Inventário
- Inspeção Principal
- Inspeção de Rotina / Manutenção
- Inspeção Subaquática
- Transportes Especiais
- Estimativas de Custos
- Ajuste Orçamental
- Histórico
- Consulta

### **2.2.8.2. Módulo de Inventário e Inspeção**

#### **i. Inventário**

O Inventário de uma Obra de Arte é o registo das características dessa obra que possam servir de base à sua manutenção e conservação.

## **ii. Inspeções de rotina**

As Inspeções de Rotina têm uma periodicidade anual. O intuito destas inspeções é avaliar o estado de manutenção das obras de arte, o qual traduz o bom (B) ou mau (M) desempenho das equipas de manutenção.

## **iii. Inspeção Principal**

Uma Inspeção Principal consiste na observação visual sistemática de danos em todas as partes da estrutura. As Inspeções principais são realizadas com uma periodicidade que pode ir de 3 a 6 anos (geralmente é de 5 anos), dependendo da idade, do estado da obra de arte e do tipo de trânsito que a utiliza. Nestas inspeções avalia-se novamente como estão a ser executados os trabalhos de manutenção.

O resultado principal desta inspeção é avaliar o estado de conservação dos componentes da ponte. É definida uma escala que varia entre 0 e 5, correspondendo o 0 a um estado de conservação óptimo (qualidade do material, ou equipamentos, e a sua execução são perfeitas) e o 5 a um estado de conservação muito mau (podendo ser perigoso para a utilização dos utentes ou pôr em risco a segurança estrutural).

### **2.2.8.3. Estimativas de Custos**

As Inspeções Principais fornecem estimativas de custo detalhadas para os próximos anos, para as obras de arte a ser reparadas num futuro próximo.

As Inspeções Principais das Obras de Arte permitem obter uma estimativa de custos razoável dentro de um horizonte de 5 a 11 anos. Como estas são feitas para todas as obras, uma previsão baseada nelas cobrirá pelo menos um período correspondente aos próximos 5 anos.

### **2.2.8.4. Ajuste Orçamental**

O sistema permite a realização de ajustes orçamentais de forma a reduzir a verba necessária para a manutenção do parque de obras até ao limite disponível pelo dono de obra, adiando para o ano seguinte os trabalhos correspondentes ao valor diferencial. A forma de excluir os trabalhos pode ser realizada por diversos critérios:

- Tipo de obra
- Zonas
- Vias
- Obras

#### **2.2.8.5. Transportes Especiais**

O sistema permite efectuar uma verificação das obras existentes no itinerário de passagem do veículo, verificando se as obras possuem uma altura livre adequada e se têm capacidade de carga suficiente para o transporte solicitado.

#### **2.2.9. SISTEMA DE GESTÃO DE OBRAS DE ARTE DE BETÃO**

No âmbito da elaboração de uma tese de doutoramento (Brito, Jorge 1992), foi proposto em 1992 um sistema de gestão de obras de arte que procura dar resposta às necessidades crescentes de informação nesta área.

O estudo engloba uma análise extensiva dos principais sistemas de gestão da altura, propondo um sistema de gestão específico para obras de arte. Inclui manuais e matrizes de correlação que procuram auxiliar os inspectores na identificação de anomalias no betão e as melhores opções de conservação.

É realizada uma proposta de sistema de decisão a dois níveis:

- Manutenção e pequena reparação
- Reabilitação / Substituição

Ao nível da manutenção e pequena reparação, os critérios de decisão assentam em aspectos relacionados com a gravidade da anomalia, importância do elemento e da urgência de reparação.

Ao nível da reabilitação e substituição a proposta de critérios de decisão assenta numa análise custo-benefício, sendo para isso estudado um modelo de quantificação de custos a longo prazo de uma ponte e tomado um critério de decisão baseado no aumento de vida residual de uma acção de conservação relativamente à opção de nada fazer.

## **2.2.10. PROJECTO BRIME**

### **2.2.10.1. Introdução**

O Projecto BRIME iniciou-se em Janeiro de 1998 e decorreu até Dezembro de 1999. Nele estiveram envolvidos um conjunto de entidades e laboratórios de investigação de estradas do Reino Unido, França, Alemanha, Noruega, Eslovénia e Espanha que decidiram investigar o estado da gestão de pontes a nível europeu. Desenvolveram vários estudos e propuseram num último relatório um sistema de gestão que pudesse ser usado em toda a Europa (BRIME, 2001).

Este projecto foi financiado em 50% pela Direcção-geral de Transportes da Comissão Europeia e os restantes 50% pelas autoridades rodoviárias dos países participantes.

### **2.2.10.2. Programa de Trabalhos**

O programa apresenta sete módulos com os seguintes temas:

- 1.º Módulo – Estudo das metodologias de inspecção e de avaliação usadas actualmente na Europa e na América do Norte.
- 2.º Módulo - Métodos para a avaliação da capacidade de carga de pontes.
- 3.º Módulo – Efeitos na estrutura da deterioração dos materiais
- 4.º Módulo - Previsão da taxa de deterioração associada a cada processo de deterioração (estruturas de betão).
- 5.º e 6.º Módulo - Metodologia de optimização do processo de decisão e de selecção da melhor opção de manutenção para uma ponte
- 7.º Módulo - Proposta de um sistema de gestão de pontes, tendo em conta os requisitos particulares dos vários sistemas viários europeus.

A investigação para cada dos primeiros seis módulos foi dividida duas partes:

- - A primeira destinada à recolha de informação do que já existia nesta área e à identificação dos requisitos para um sistema de gestão de pontes.
- - A segunda destinada ao desenvolvimento de linhas de orientação para os vários módulos do sistema a propor.

### **2.2.10.3. Conclusões e Desenvolvimentos futuros**

Como principais conclusões, o programa aponta para uma necessidade de avaliar o nível de conservação de uma ponte com uma componente relacionada com a avaliação de capacidade de carga e outra dependente do resultado das inspecções.

Como sistema de optimização da decisão, aponta para um sistema baseado numa análise custo-benefício tanto ao nível da rede viária como da ponte.

Os desenvolvimentos futuros defendidos por este programa apontam para o uso de inteligência artificial nas várias fases de gestão das pontes, monitorização e o aumento das técnicas de avaliação da fiabilidade das estruturas e modelos de deterioração.

### **2.2.10.4. Informações recolhidas através de um questionário do projecto BRIME**

O projecto BRIME elaborou uma recolha de informação sobre os sistemas de gestão de pontes em uso na Europa e noutros países com créditos firmados nesta área.

A recolha de informação procedeu-se através do envio de um questionário para os parceiros do projecto BRIME e para outros países europeus bem como para países fora da Europa que já estão avançados na gestão de pontes tais como o Canadá, Japão e E.U.A.

Dos países contactados a Áustria, Grécia, Hungria, Islândia, Itália, Holanda, Suécia, o Japão e o Canadá não responderam ao questionário. A análise das respostas recolhidas é apresentada a seguir de uma forma resumida através da tabela da página seguinte.

País e Sistema de gestão de pontes Principais Funções	Alemanha	Dinamarca	Espanha	França	Reino Unido	Noruega	Finlândia	Eslovénia	Bélgica	Croácia	Irlanda	Portugal	Suécia	Califórnia	N. Iorque
	SIB Bauwerke	Danbro		Edouard and OA	NATS	Brutus			BDOA			BRISA	Safebro	(E.U.A)	(E.U.A)
Tempo em actividade (anos)	Novo	20	15000	22000	9500	17000	15000	1760	5000	1200	>1800	1400	15000	25000	10000
N.º Pontes	34600	1400	15000	22000	9500	17000	15000	1760	5000	1200	>1800	1400	15000	25000	10000
Inventário das pontes existentes	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Calendarização de Inspeções	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Avaliação estrutural	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Orçamento para Conservação	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ordenação das Acções de conservação	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Custos Conservação / Custos de Substituição	1,00%		0,30%	0,40%	1,00%	0,60%	1,00%				0,60%	1,70%			8,50%
Planeamento a longo prazo	X	✓		X	✓	✓	✓		X	X		X	✓		✓
Registo de custos por tipo de manutenção	✓	✓		X					X	X		X	✓		✓
Avaliação da Segurança	X			X	✓				X	X			✓		✓
Estudo de alternativas de manutenção	X			X	✓				X	X		X	✓		✓
Estudo de custos para toda a vida útil	X			X	✓				X	X		X	X		✓
Estimativa de atrasos para o utilizador	X			X	✓				X	X		X	✓		✓
Previsão da Deterioração	X	X	X	X	X	X	✓	X	✓	X	X	X	✓	✓	✓

Tabela 2.6 Resultados a questionários do projecto BRIME - Sistemas de Gestão de Pontes na Europa e E.U.A

✓ - Sim

X - Não

- Não respondeu

### **2.2.11. PROJECTO PONTES SUSTENTÁVEIS**

O projecto europeu “Pontes Sustentáveis” é um projecto financiado pela Comissão Europeia com um valor inicial de cerca de 10 milhões de euros (Sustainable bridges, 2004). É um projecto que decorreu entre Dezembro 2003 e o fim de 2007 (48 meses) e teve como objectivo avaliar o estado actual das pontes ferroviárias e identificar os meios necessários a cumprir o objectivo traçado para 2020 pela Comissão Europeia de aumentar a capacidade de carga e de velocidade de circulação na rede ferroviária europeia.

Foram inspeccionadas e avaliadas todas as pontes inseridas na rede ferroviária, bem como analisado o que se faz em termos de Inspeção e Conservação de Pontes nos diversos países europeus.

Os parceiros deste projecto são várias entidades ferroviárias europeias, Universidades e consultores. O representante português neste projecto é a Universidade do Minho.

#### **i. Objectivos do Programa**

- Aumentar a capacidade de carga em transporte de mercadorias para cerca de 33 toneladas por eixo e para velocidades de 350 km/h no transporte de passageiros.
- Aumentar em cerca de 25% a vida útil das pontes existentes.
- Melhorar os actuais sistemas de reforço e reparação de pontes.



## 2.3. ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA (E.U.A)

### 2.3.1. BREVE INTRODUÇÃO HISTÓRICA E SITUAÇÃO ACTUAL

Os E.U.A são um país com uma forte tradição na investigação e desenvolvimento da gestão de pontes e infra-estruturas. Possuem uma das maiores redes de auto-estradas do mundo, com mais de 6.3 milhões de quilómetros de auto-estradas, com cerca de 581000 pontes (vão superior a 6,10 metros). A eficiência e segurança desta rede viária são essenciais para a competitividade da economia americana.

A 15 de Dezembro de 1967 a queda da Silver Bridge (Virgínia Ocidental) em hora de ponta provocou a morte de 46 pessoas e 9 feridos. O colapso da ponte deveu-se à rotura de um cabo de suspensão provocado por uma fissura de 2 mm, que poderia ser revelada se tivesse ocorrido uma inspecção detalhada à ponte. Este acidente, muito próximo do Natal, teve um grande impacto na opinião pública e serviu para alertar as autoridades para a importância da gestão e inspecção das pontes, até à altura inexistentes.



Figura 2-6 - Colapso da Silver Bridge, 1967 (Bridge Inspector's Reference Manual, 2006)

Após esta tragédia, o congresso (*Federal Highway Aid Act*) solicita em 1968 a elaboração de um regulamento sobre inspecções de pontes e a inventariação centralizada de todas as pontes existentes no país. Também desbloqueia um fundo para substituição imediata de pontes em estado crítico e para a formação de inspectores.

Em 1971 a *Federal Highway Administration* (FHWA) publica as normas de inspecção de pontes (NBIS) em conjunto com a Associação Americana de Transportes (AASHTO).

Pela primeira vez são aprovadas normas que obrigam à inventariação e inspecção de todas as pontes públicas. No mesmo ano, o Congresso norte-americano inicia o Programa de Reabilitação e Substituição de Pontes (HBRRP), actualmente ainda em curso.

Desde a criação destas normas de inspecção, o NBIS tem sofrido constantes actualizações e desenvolvimentos fruto da constante investigação que tem sido feita na área da conservação de pontes através dos fundos criados pela FHWA. Muita dessa investigação infelizmente ocorreu após a ocorrência de novos acidentes, tais como:

- a rotura frágil de uma secção da Mianus River Bridge (Junho de 1983 em Greenwich, Connecticut) que incitou ao estudo da fadiga do aço e das ligações metálicas.
- o desastre da Scholarie Creek Bridge (Abril de 1987, Nova Iorque) devido à infra-escavação (descalçamento) de um pilar central provocado por cheias. Este e outros acidentes alertaram para o problema de infra-escavação dos pilares localizados em cursos de água.

Resumo das Inspeções de Pontes, Programas de financiamento e evoluções aos programas	
Decreto e Data	Directivas
Federal-Aid Highway Act de 1970 (P.L. 91-605)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obrigatoriedade de Inventariação das pontes do sistema federal</li> <li>- Definição dos dados a recolher</li> <li>- Definição das qualificações mínimas dos inspectores e acções de formação</li> <li>- Programa Especial de Substituição de Pontes (SBRP)</li> </ul>
Surface Transportation Assistance Act de 1978 (P.L. 95-599)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programa de Reabilitação e Substituição de Pontes</li> <li>- Alargamento da inventariação a todas as pontes de vias públicas</li> <li>- 4.2 biliões de dólares de fundos em 4 anos para o HBRRP</li> </ul>
Highway Improvement Act de 1982	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 7.1 biliões de dólares de fundos em 4 anos para o HBRRP</li> </ul>
Surface Transportation and Uniform Relocation Assistance Act de 1987	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 8.2 Biliões de dólares de fundos em 5 anos para o HBRRP</li> <li>- Obrigatoriedade de realização de inspecções subaquáticas e de detecção de possíveis fracturas frágeis.</li> <li>- Autorização de aumento do intervalo entre inspecções para alguns tipos de pontes</li> </ul>
Intermodal Surface Transportation Efficiency Act de 1991 (ISTEA – 1991)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 16.1 biliões de dólares de fundos em 6 anos para o HBRRP</li> <li>- Mandato de Implementação nos Estados de Sistemas de Gestão de Pontes</li> </ul>
National Highway System Designation Act de 1995	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revogado o Mandato de Implementação dos Sistemas de Gestão de Pontes</li> </ul>
Transportation Equity Act para o Século XXI (TEA-21, 1998)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 20.4 biliões de dólares de fundos em 6 anos para o HBRRP</li> </ul>

Tabela 2-7 - Cronologia da evolução da Gestão de Pontes nos E.U.A.

## **2.3.2. ADMINISTRAÇÃO, GESTÃO E FINANCIAMENTO DAS PONTES**

Nos E.U.A existe uma clara distinção entre o “proprietário” e o gestor. A administração federal (Departamento de Transportes - DOT) não é proprietária de nenhuma ponte, mas intervém na gestão e conservação do património dos Estados, Condados e Municípios, através da supervisão das inspecções e da recolha e armazenamento da informação.

A administração federal define políticas a seguir, programas de investigação e desenvolvimento, a inventariação, as normas de inspecção a cumprir e a certificação dos inspectores e financia uma parte da reabilitação e reconstrução das pontes. O financiamento provém das taxas federais aplicadas sobre os combustíveis (Xantakos, Petros 1996).

## **2.3.3. A GESTÃO DE PONTES NA FHWA**

### **2.3.3.1. National Bridge Inventory (NBI)**

O NBI contém todas as informações sobre as pontes, das quais se destacam as recolhidas nas inspecções efectuadas (Report No. FHWA-PD-96-001, 1995). Nesta gigantesca base de dados pode encontrar-se informação de pontes de todo o país. A seguir mostra-se como é estruturada a informação.

#### **i. Informação de Inventários (57 itens)**

Informação sobre a localização da ponte, ano de construção e tipo de ponte, características geométricas, proprietário, função (designação, tipo de via – estatal, municipal ou local, tipo de tráfego que serve), características estruturais (tipo de estrutura, materiais, sobrecargas de projecto), importância histórica, desvio no caso de interrupção da ponte, etc.

#### **ii. Avaliação estrutural do estado da ponte (9 níveis de classificação)**

Através das inspecções periódicas recolhem-se dados sobre o estado dos principais elementos das pontes. São elaborados índices de avaliação para os seguintes elementos:

- Tabuleiro da ponte, incluindo a superfície de passagem;

- Superestrutura, incluindo as ligações entre elementos constituintes do tabuleiro.
- Subestrutura, incluindo os encontros;
- Passagens inferiores e passagens hidráulicas de protecção de canais;

Os inspectores utilizam uma escala de 10 pontos, descrita na tabela seguinte.

Níveis de Estado das Pontes de acordo com o NBI		
Nível	Estado	Descrição
9	Excelente	
8	Muito bom	
7	Bom	Não se detectaram problemas
6	Satisfatório	Pequenas deficiências
5	Razoável	Todos os principais elementos da estrutura estão bons mas podem apresentar pequenas perdas de secção, fendilhação, descasque ou infra-escavação.
4	Deficiente	Redução de secção, deterioração ou infra escavação em estado mais avançado
3	Mau	Os principais elementos da estrutura sofreram redução de secção, deterioração, descasque ou infra-escavação grave. É possível detectar-se falhas na estrutura, nomeadamente fissuras em elementos de aço devidas à fadiga e fissuras por esforço transversal em elementos de betão.
2	Critico	Os principais elementos da estrutura estão em avançado estado de deterioração. Falhas na estrutura, fissuras no aço devidas à fadiga e fissuras por corte no betão. A infra-escavação pode ter provocado descaçamento das fundações. Monitorizar, ou encerrar a ponte até serem tomadas medidas correctivas.
1	Rotura Iminente	Elementos principais da estrutura encontram-se muito danificados ou verificam-se movimentos verticais ou horizontais que afectam a estabilidade global. A ponte deve ser encerrada mas se forem tomadas algumas acções de reabilitação poderá ser reaberta com limitações de circulação.
0	Rotura	Fora de Serviço; necessário tomar medidas correctivas e eventual substituição

Tabela 2-8 - Avaliação do estado das pontes de acordo com a FHWA

### iii. Avaliação da funcionalidade da ponte

Esta avaliação é feita comparando o nível de serviço efectivamente prestado pela ponte com o nível exigível a uma nova ponte segundo as normas actuais a construir nesse itinerário. Numa escala de 9 a 0 (9 - superior ao requerido; 0 – a ponte deve ser encerrada à circulação) avaliam-se os seguintes aspectos:

- Avaliação estrutural global – capacidade de carga;
- Largura útil do tabuleiro;
- Altura livre inferior e superior (se insuficiente provoca desvios de tráfego);
- Passagem dos cursos de água;
- Acessos à ponte;
- Quantificação de custos para o utilizador.

Nestes itens avalia-se os custos de cada opção de reabilitação e ou substituição da ponte e a forma de se executar o trabalho.

Estes itens são recolhidos para todas as pontes inseridas no território de cada Estado. O Estado transmite esses dados à administração central (FHWA) que os insere no NBI. Nas figuras seguintes mostram-se alguns dados sobre o estado das pontes norte-americanas.

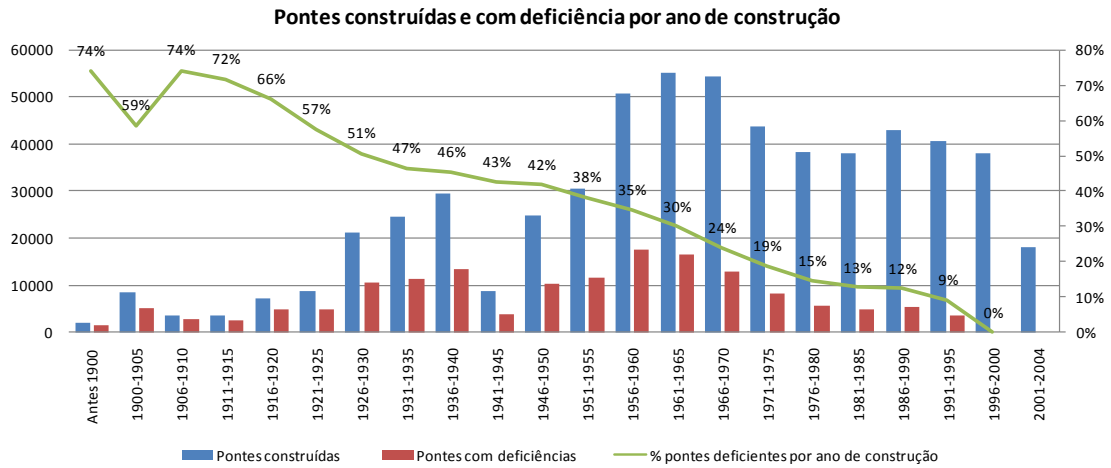


Figura 2-7 - E.U.A. - Distribuição de Pontes por ano de construção  
(Fonte: National Bridge Inventory)

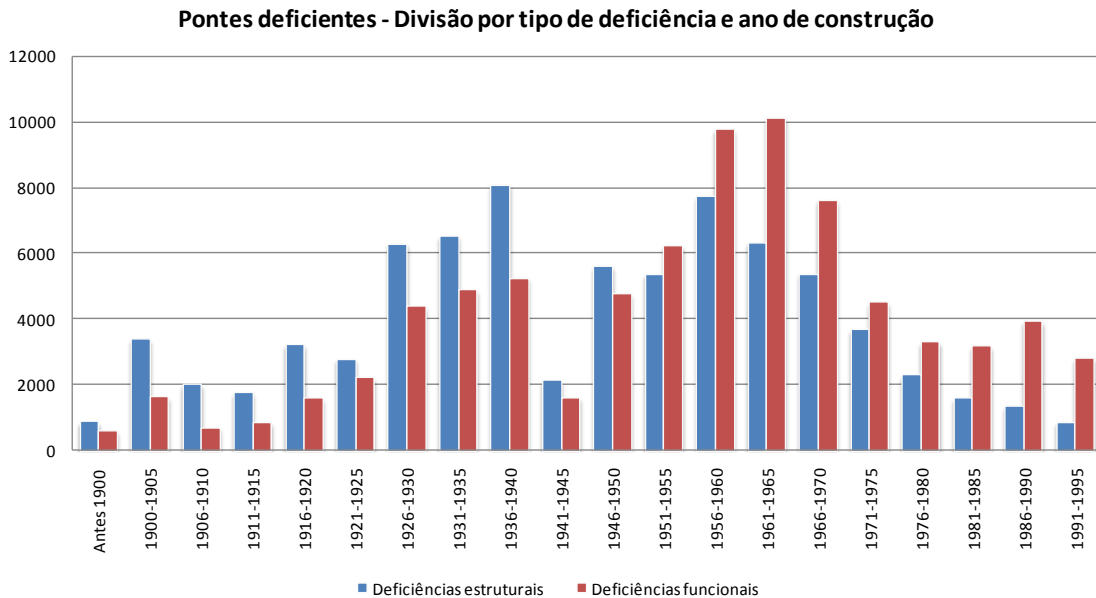


Figura 2-8 – E.U.A - Distribuição de pontes por tipo de deficiência  
(Fonte: National Bridge Inventory)

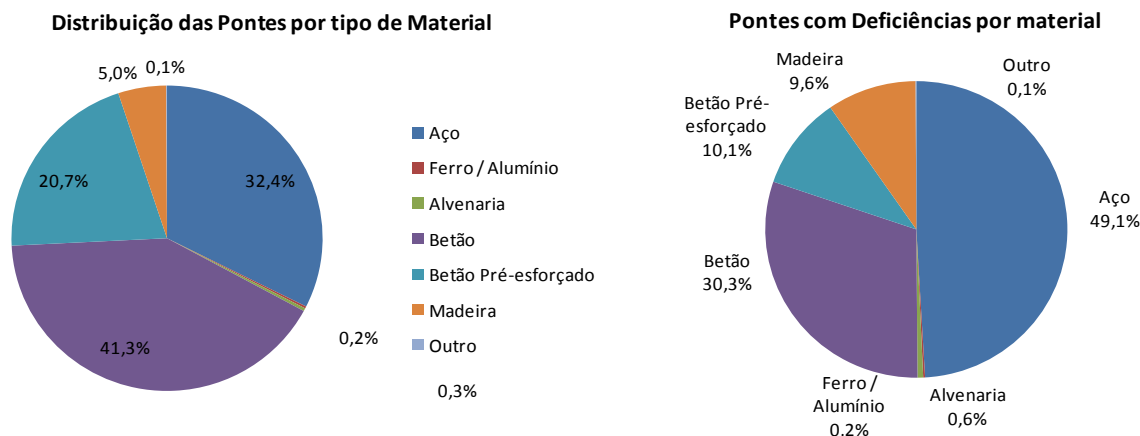


Figura 2-9 – E.U.A. – Deficiências por tipo de material  
(Fonte: National bridge inventory)

### 2.3.3.2. Processo de hierarquização

O Índice de eficiência federal é um índice que mede a capacidade de uma ponte se manter em serviço. Esse índice é calculado através da avaliação estrutural e funcional da ponte (descritos anteriormente). O seu valor máximo é 100 pontos percentuais (ponte em óptimo estado), 55 dos quais afectos à avaliação da segurança estrutural e à capacidade de carga, 30 pontos para a medição da sua funcionalidade e os restantes 15 dedicados à aferição da importância da ponte na circulação do tráfego.

É através deste índice que se elegem as pontes candidatas à atribuição de fundos federais e os aspectos prioritários a reparar. É também através deste índice que se limita parcial ou totalmente o tráfego sobre as pontes (Report No. FHWA-PD-96-001, 1995).

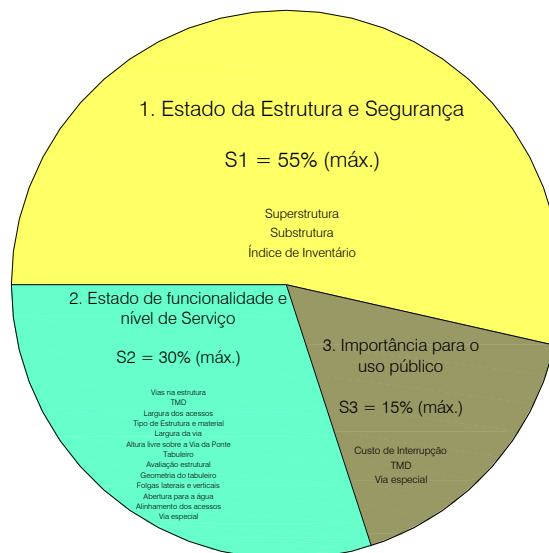


Figura 2-10 – Composição do Índice de eficiência federal (Report No. FHWA-PD-96-001, 1995)

Caso existam condições especiais que prejudiquem a funcionalidade da ponte (poucas alternativas de desvio) ou se o tipo de estrutura for especialmente crítico (ponte suspensa, ponte em treliça metálica), existe um factor (S4) que pode ir até 13 pontos na redução da avaliação da ponte. Este factor só deve ser usado quando os restantes totalizarem mais de 50 pontos.

Pontes com valores entre 0 e 50% são elegíveis para reabilitação ou substituição. As que atingem valores entre 50 e 80% só o são para reabilitação (Xantakos, Petros, 1996).

#### 2.3.4. A AVALIAÇÃO DA CONSERVAÇÃO POR ELEMENTOS DA PONTE

A avaliação definida pelo NBI ao nível de componentes muito gerais (tabuleiro, superestrutura, fundações, etc.) não permitia estabelecer uma correspondência entre o estado de cada elemento e a definição de acções de conservação, além de poder ser desprezado o estado de conservação de um ou outro elemento.

Para ultrapassar essas dificuldades, a FHWA e a AASHTO definiram cerca de 160 elementos tipo caracterizadores dos mais diversos tipos de pontes (*Commonly Recognized Elements* – Thompson e Sheppard 2000) e um sistema de avaliação de conservação com apenas 5 níveis: – (1) elemento protegido, (2) exposto, (3) atacado, (4) danificado e (5) em ruína.

Este novo sistema de avaliação é utilizado pelo sistema de gestão de pontes mais utilizado nos E.U.A. – o Pontis.

### 2.3.5. SISTEMAS DE GESTÃO DE PONTES

A gestão de pontes nos E.U.A é feita pelas entidades proprietárias das pontes, supervisionadas pela administração federal. Em 1991 a Intermodal Surface Transportation Act (ISTEA) decretou a obrigatoriedade da implementação de um sistema de gestão em cada Estado. Actualmente existem três tipos de sistemas:

- PONTIS: o sistema predominante, utilizado em 39 Estados.
- BRIDGIT: sistema utilizado no Estado de Maine, Washington e Louisiana.
- 5 Estados desenvolveram o seu próprio sistema de gestão: Alabama, Indiana, Nova Iorque, Carolina do Norte e Pensilvânia.

#### 2.3.5.1. PONTIS

O Pontis é um sistema informático desenvolvido para a AASHTO. Surgiu pela primeira vez em 1995, tendo sofrido constantes actualizações desde essa altura (actualmente vai na versão 5.0). É um sistema que garante o suporte a todo o processo de gestão de pontes. Entre as várias funções do Pontis destacam-se:

Módulo	Funções Principais
Inventário	- Inventário rigoroso da estrutura - Integração e troca de dados com a informação existente nos sistemas da empresa
Inspeção	- Marcação e condução de inspecções - Inserção da informação recolhida nas inspecções - Importação de dados de inspecções de outros sistemas externos - Produção dos ficheiros exigidos pelo NBI - Produção de relatórios sobre a estrutura, a inspeção e avaliação - Desenvolvimento de modelos de deterioração de estruturas e de custos baseados em dados históricos e experiência
Identificação de Necessidades e Desenvolvimento de Estratégias	- Planificação a longo prazo de políticas de conservação e melhorias baseados em estudos económicos e normas da agência - Identificação de necessidades correntes e futuras de conservação e de melhorias - Avaliação de cenários alternativos de investimento baseados no estado da estrutura, na sua performance e na relação custo-benefícios.
Desenvolvimento de Projectos e Programas	- Projectos que respondam às recomendações dos inspectores e às normas da agência - Avaliação do impacto de projectos alternativos na performance da estrutura - Ordenação de projectos prioritários - Programas baseados em restrições orçamentais de projectos - Acompanhamento da evolução de projectos e assistência

Tabela 2-9 – Funções principais do sistema de gestão Pontis



## i. Organização do Sistema

A figura seguinte mostra como se organiza o sistema Pontis.

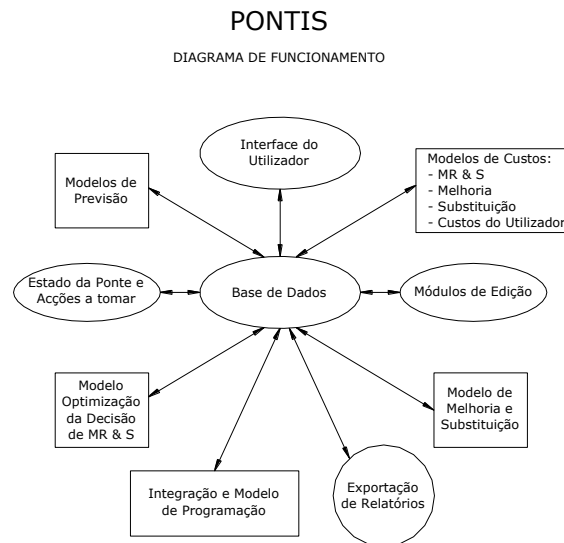


Figura 2-11 - Organização do Sistema Pontis

O Pontis possui uma base de dados completa para gerir a informação relativa à inventariação e à inspecção das estruturas. Tem módulo de acesso pela Internet.

Possui um módulo de Planeamento de Projectos com um conjunto de ferramentas que auxiliam o desenvolvimento de projectos. Neste módulo controlam-se as necessidades presentes para cada estrutura e analisa-se o comportamento futuro da estrutura para diversos cenários, tendo em conta as limitações orçamentais (Parag, C. Das, 1999).

## ii. Optimização das Acções de Conservação

No Pontis cada ponte é dividida nos seus elementos constituintes, normalmente 6 a 8 segundo as regras dos *CoRe Elements* (Thompson, P. 2000). Para cada elemento vai ser atribuído um índice de conservação (1 a 5). Para cada um desses índices existem um conjunto de acções de conservação possíveis e um custo unitário para cada uma dessas acções. Para ter em conta o efeito do ambiente atribui-se uma categoria ambiental a cada elemento.

Após a avaliação de cada elemento utiliza-se um modelo de previsão da deterioração para estimar a probabilidade de alteração entre estados de conservação consecutivos (modelos probabilísticos). Estes modelos de previsão têm ainda a capacidade de se aperfeiçoar com a experiência, actualizando automaticamente as funções de previsão

à medida que se recolhe mais informações ao longo do tempo (tem um módulo específico de programação).

O modelo de optimização da manutenção, reabilitação e substituição utiliza as informações recolhidas dos modelos de avaliação dos elementos, do modelo de previsão da deterioração e de custos para produzir informações, nomeadamente:

- Previsões da deterioração e dos custos de um ciclo de vida de uma ponte para cada elemento e para cada estado de conservação.
- Planeamento de trabalhos de conservação e substituição para cada ponte.
- Políticas de actuação a nível da gestão da rede, no que se refere à preservação e à avaliação das necessidades da cada ponte.

O modelo de melhoria e substituição compara os benefícios da melhoria das pontes com os custos a ela associados e ordena as pontes por ordem de necessidades crescentes. Os resultados desta análise económica são guardados na base de dados e quando chega a altura de recomendar acções de manutenção óptimas o sistema serve-se desses dados para calcular os benefícios reais (custos da acção óptima menos os custos de não fazer nada) e assim encontrar a acção de conservação com benefícios maiores.

### **2.3.5.2. BRIDGIT**

O BRIDGIT iniciou-se em 1985 e foi criado com o objectivo de desenvolver um modelo de gestão de pontes ao nível da rede viária (gestão de um conjunto de pontes), mas a sua utilização verificou-se ser mais eficiente na gestão da ponte isoladamente ou na gestão de pequenos grupos de pontes (Austroads, 2002). O BRIDGIT foi testado em cerca de 8 a 10 Estados americanos, estando já implementado em 3 Estados (Estado de Maine, Washington e Louisiana).

#### **i. Organização do Sistema**

Os módulos base do BRIDGIT são:

- O Módulo de Inventariação consiste numa base de dados flexível com a capacidade de adicionar itens aos obrigatórios definidos pelo NBI. O sistema armazena a data, custos e tipo de trabalho levado a cabo em cada ponte, e a avaliação do estado da ponte.

- O Módulo de Inspeção actualiza os dados de inspeção de 2 em 2 anos. O sistema aconselha a execução de inspeções especiais (pontes com elementos críticos, inspeções subaquáticas, etc.) em períodos que vão de 6 a 48 meses, em função do estado geral da ponte e do meio ambiente em que se insere. As inspeções visuais utilizam um sistema de avaliação de 3 a 5.

- O Módulo de Manutenção/Reabilitação/Substituição define e planeia programas de manutenção, reabilitação e substituição (MR&S), utilizando, utilizando informação de trabalhos de conservação anteriores.

- O Módulo de Análise serve para otimizar os trabalhos de MR&S através da informação disponível na Inventariação, Inspeção e no módulo de MR&S.

O processo de optimização do BRIDGIT assenta numa análise de minimização dos custos do ciclo de vida (despreza os custos de inspeção) e numa análise incremental da relação custos-benefícios. Na previsão do estado das pontes a longo prazo o BRIDGIT utiliza modelos probabilísticos de deterioração. A análise é desenvolvida a longo prazo (um horizonte de 20 anos) para prever o investimento a ser feito na rede viária e, a curto prazo define quais as pontes que deverão receber fundos para acções de conservação (horizonte de 2 a 3 anos).

A optimização é executada em duas fases (Austroads, 2002). Na primeira, são desenvolvidas várias estratégias de actuação e cada estratégia é comparada com a opção de não fazer nada. Na segunda fase, a análise de optimização é levada a cabo para ordenar as necessidades e seleccionar as opções economicamente mais vantajosas que, satisfaçam os orçamentos disponíveis e assegurem um nível de serviço satisfatório.

### **2.3.5.3. Diferenças entre o PONTIS e o BRIDGIT**

A diferença principal consiste no processo de optimização usado pelo BRIDGIT, que utiliza uma optimização de “baixo para cima” (da ponte para a rede). A vantagem deste sistema é que lhe permite efectuar análises em vários anos e contabiliza o efeito que o atraso na reparação tem numa ponte em particular. O Pontis só tem esta capacidade ao nível da rede viária estimando este efeito na rede toda. O sistema de

análise do BRIDGIT é mais adequado para pequenos grupos de pontes, tornando-se lento num conjunto de pontes muito grande.

Outra diferença entre os dois sistemas é a capacidade do BRIDGIT permitir definir e distinguir o efeito que os sistemas de protecção (por exemplo a pintura nos elementos metálicos) têm nos elementos quando se estão a estudar as diferentes opções de conservação (Parag, C. Das 1999).

#### **2.3.5.4. Estado da Califórnia e o Pontis**

O Estado da Califórnia utiliza o Pontis para simular a deterioração dos elementos permitindo-lhe determinar um índice de performance (“Health index”) de uma ponte numa escala de 0 (degradada) a 100 (em perfeitas condições de serviço).

#### **2.3.5.5. Pensilvânia**

O sistema de gestão de pontes do Estado da Pensilvânia entrou em serviço em 1987. O sistema funciona com os módulos a seguir apresentados (Das, Parag C., 1999).

##### **i. Base de Dados e Inspeção**

A base de dados, já existente, foi modificada para se poder articular com outros sistemas do departamento de transportes. Acrescentou-se à base de dados uma secção com registos que descreviam os procedimentos de inspeção e os custos unitários das acções de conservação.

Aquando duma inspeção a uma ponte é preenchido um formulário no qual são referidas as acções de conservação prioritárias bem como os meios necessários à sua execução.

##### **ii. Subsistema de Manutenção (BMTS)**

O objectivo deste subsistema é definir as pontes prioritárias a conservar atendendo às limitações orçamentais existentes. A ordenação é feita mediante quatro critérios:

1. Importância da acção de manutenção na segurança da ponte (0 a 40 pontos)
2. Urgência da reparação (0 a 25)

3. Importância da ponte na rede viária (0 a 25 em três parâmetros)
4. Capacidade de carga actual da ponte (0 a 25 em dois parâmetros)

A cada um destes critérios é atribuído um peso específico na definição de um Índice de Deficiência. Esse Índice de Deficiência tem um valor máximo de 100 (mesmo que ultrapasse), sendo que quanto maior for o valor do índice maior a urgência de actuação na ponte.

### iii. Subsistema de Reabilitação/Substituição

A opção de reabilitação e substituição de uma ponte surge quando a ponte não consegue satisfazer as funções para a qual foi construída (Brito, J. 1992). As deficiências da ponte são avaliadas através dum índice de deficiência global (TDR) numa escala de 0 a 100:

$$TDR = \Phi \times [LCD+WD+VCOD+VCUD+BCD+RLD+AAD+WAD] \quad (\text{Eq. 2.2})$$

em que:

-  $\Phi$  está associado à categoria da estrada que a ponte serve e varia de 0.75 para estradas municipais a 1.00 para estradas interestaduais.

- Nível de Serviço:

- . Capacidade de carga (LCD)
- .Largura livre do tabuleiro (WD)
- .Altura livre para tráfego sobre a obra de arte (VCOD)
- .Altura livre para tráfego sob a obra de arte (VCUD)

- Estado Geral da Ponte (BCD = SPD+SBD+BDD):

- .Superestrutura (SPD)
- .Infra-estrutura (SBD)
- .Tabuleiro (BDD)

A pontuação de cada elemento provém dos resultados da inspecção.

- Outras características relacionadas:

- .Vida útil residual (RLD)
- .Alinhamento de acessos (AAD)
- .Inadequação do Curso de Água (WAD)

O cálculo da vida útil residual é feito a partir dos valores obtidos na inspecção do tabuleiro, superestrutura e infra-estruturas. A pontuação a atribuir a estes três itens é obtida por comparação com valores de referência.

Depois de obtidos estes índices calcula-se o índice de deficiência global (TDR) para todas as pontes da rede viária em estudo e estimam-se os custos de substituição e reabilitação. As pontes com maior TDR são as pontes com maior prioridade de sofrer acções de reabilitação ou substituição (Brito, 1992).

O estudo combinado da avaliação de deficiência global (TDR) com a informação de custos e outros factores relacionados com a intensidade e tipo de tráfego permitem gerir de uma forma mais eficiente as obras de arte.

#### **2.4. ANÁLISE DOS SISTEMAS DE GESTÃO DE PONTES APRESENTADOS**

Embora não se tenha conseguido juntar informação com o mesmo nível de detalhe para cada sistema de gestão de pontes, existem pontos que realçam e que merecem uma análise aprofundada.

De uma forma geral, começa a ser comum a todos os sistemas a existência dos seguintes módulos na sua estrutura:

- Base de dados
- Módulo de inspecção
- Módulo de avaliação e análise
- Módulo de apoio à decisão

O módulo de apoio à decisão está mais desenvolvido em países do norte da Europa e principalmente nos E.U.A.

O motivo deste desenvolvimento pode dever-se ao facto da idade média das pontes norte-americanas ser superior e também por se terem registado neste país vários colapsos de pontes que obrigaram as entidades governamentais a investir muito na investigação relacionada com a conservação de pontes.

Relativamente aos países do norte da Europa, a sua localização numa zona ambientalmente tão adversa para as infra-estruturas, pode ter despoletado mais cedo a necessidade de implementar sistemas de gestão da conservação de pontes mais cedo.

A seguir serão analisados e comparados alguns destes módulos por país. A análise não se limitará aos sistemas apresentados anteriormente, englobando também aspectos relativos a sistemas de gestão de pontes de outros países.

#### **2.4.1. BASE DE DADOS**

A base de dados do sistema de gestão é de uma forma geral informatizada em todos os sistemas apresentados. Nela guarda-se toda a informação relativa às pontes desde a sua concepção até à substituição. A informação normalmente encontrada nas bases de dados é composta por:

- . Dados gerais das obras de arte (localização, extensão, obstáculo que vence, rede viária em que se insere, etc.).
- . Dados técnicos relacionados com os materiais utilizados, forma estrutural, elementos que a compõem e elementos relacionados com o seu projecto (desenhos, cálculos, etc.) e telas finais.
- . Estado de referência da ponte, que servirá de comparação para o evoluir dos níveis de conservação da ponte.
- . Módulos de apoio à inspecção e manutenção, com informação relativas a anomalias mais comuns de encontrar em cada ponte e acções de manutenção ou reparação por cada anomalia (manuais de inspecção).
- . A informação relativa a custos de reparação começa a ser corrente em todos os sistemas mas ainda não é convenientemente tratada em todos. Neste aspecto destacam-se os sistemas de gestão norte-americanos e o sistema finlandês e dinamarquês.

## 2.4.2. PLANOS DE INSPECÇÃO

Outro elemento comum a todos os países relaciona-se com o plano de inspecção. Este plano tem o objectivo de recolha de informação relacionada com o estado de conservação das pontes. Na tabela seguinte mostram-se os planos de inspecções existentes nalguns países. Estes, embora variem de país para país, apresentam um padrão mais ou menos comum.

INSPECÇÃO	PERIÓDICAS (PERIODICIDADE)			NÃO PERIÓDICA
	ROTINA	PRINCIPAIS	OUTRAS	ESPECIAL
<b>REFER Portugal</b>	Anual (inclui acções manutenção corrente)	Principal (5 em 5 anos)		Periodicidade curta ou ocasional
<b>Estradas de Portugal (GOA)</b>	Anual	Principal (5 em 5 anos)	Inspeção de inventário	
<b>Alemanha (Bast)</b>	Visual (3 anos)	Geral (6 anos)		Inspeção localizada (quando necessária)
<b>Dinamarca (Danbro)</b>	Anual	Principal (menos que 6 anos; 3 anos em média)		Quando necessária
<b>Espanha (Madrid - Geocisa)</b>	1 - 6 meses	Principal Geral (15-21-27 meses, dependendo da importância da via)	- Principal detalhada (5-7-9 anos)	Quando necessária
<b>França (D.R.C.R-M.T.)</b>	Anual	Principal (5 anos)	- Vigilância contínua - Inspeção de referência na recepção provisória	Inspeção detalhada excepcional
<b>França (SNCF)</b>	Insp. Visual anual	3, 6 ou 9 anos (depende do material e estado da ponte)		Quando necessária
<b>Itália (SPEA)</b>	Anual (Engenheiro); 3 meses (pessoal técnico)	Principal (1 – 2 – 4 Anos)		Quando necessárias
<b>Noruega</b>	Anual (2 anos se vão inferior a 10m)	5 anos (pode ser alargado ou diminuído, consoante o caso)	Geral dos elementos críticos, incluindo fundações (5 anos)	Quando necessária
<b>Polónia (Ibdim)</b>	Anual	Principal (< 5 anos)	Rotina (3 meses)	Quando necessária
<b>Reino Unido (TRL)</b>	Inspeção geral (< 2 anos)	6 a 10 anos (inclui inspeção subaquática, consoante a importância da ponte)	- Superficial (regular) - Inspeção principal de referência (1 mês após recepção provisória)	Inspeção especial e em alguns casos regular (ex. ponte com restrições)
<b>Canadá (Ontário)</b>	Inspeção Visual (Mensal < frequência < 2 anos)	De 2 em 2 anos (Equipamento leve mas metódica)	Avaliação Estrutural de 5 em 5 anos em obras de arte seleccionadas	Avaliação estrutural 2 anos após trabalhos de reabilitação
<b>E.U.A. (FHWA)</b>	Menos que 2 anos (normalmente anual)	- Inspeções principais, incluindo inspeção subaquática (5 anos) - Inspeção de elementos críticos regular.	- Inicial (referência) - Pontes com elementos críticos à rotura	- Para verificação de anomalias. - Inspeção a distância de um braço dos elementos.
<b>UIC</b>	Periódica (2-3 anos)	Geral (6 anos)	- Vigilância contínua. - Referência (aquando da recepção provisória ou grande reabilitação)	

Tabela 2-10 – Sistemas de Inspeção existentes



De uma forma geral, observa-se a mesma estrutura base de inspecção, assente em três tipos de inspecções:

- Rotina – inspecções realizadas com períodos curtos (meses), normalmente por pessoal afecto à via. É mais corrente em linhas ferroviárias.
- Inspeção corrente – periodicidade normalmente anual. É um tipo de inspeção visual, que poderá ou não incluir acções de limpeza e manutenção corrente.
- Inspeção principal – periodicidade média de 5 anos (em França pode chegar a 9 anos, dependendo do estado da ponte). É uma inspeção realizada com mais detalhe, normalmente a uma distância de um braço dos elementos a analisar. Começa-se a utilizar neste tipo de inspecções ensaios não destrutivos.

A juntar a estas inspecções base estão normalmente inspecções especiais mais detalhadas, levadas a cabo em pontes nas quais foi detectada uma anomalia particular numa das outras inspecções ou que já tinha sido observada noutras pontes semelhantes.

Além destas quatro inspecções, é comum também realizar uma inspeção de recepção (levadas a cabo antes da ponte entrar em serviço) e a inspeção de garantia (antes da recepção definitiva).

Nos Estados Unidos, especifica-se mesmo uma inspeção especial aos denominados elementos críticos. Estes são normalmente elementos ou ligações de uma importância crítica à estabilidade da ponte que poderão provocar grandes acidentes em caso de rotura. Alguns exemplos são os cabos de suspensão, cavilhas, longarinas de treliças metálicas, ligações de emenda de perfis traccionados e outros.

Em quase todos os sistemas existem manuais de suporte à inspeção, destacando-se pela sua qualidade as normas francesas. É igualmente importante a atenção dada nos Estados Unidos à formação e qualificação dos inspectores responsáveis pela execução das inspecções.

### **2.4.3. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO EXISTENTES**

Dos sistemas de gestão existentes analisados, verificou-se existirem diferentes formas de avaliação, embora se possam encontrar pontos comuns nalguns deles.

Sistema	Níveis de Avaliação	Âmbito de Análise	Sistema Classificativo
REFER, Portugal	0 a 4	- Gravidade da anomalia - Urgência de reparação.	0 - Estado normal 4 - Avarias graves - actuação imediata.
Estradas de Portugal, (GOA)	0 a 5	- Gravidade da anomalia.	Sem danos Pré-ruína; Alerta
Alemanha (SIB-Bauwerke e Bast)	0 a 4	- Efeito da anomalia na estrutura (S)	Índice de estado:
	0 a 4	- Efeito da anomalia no tráfego (V)	1.0 – 1.4 – Estado normal da estrutura
	0 a 4	- Efeito da anomalia na durabilidade (D)	2.5 – 2.9 – Avaliação estrutural insatisfatória, funcionalidade e durabilidade afectada.
Dinamarca (Danbro)	0 a 5	- Gravidade da anomalia (0 a 3) - Impacto na funcionalidade (0 a 1) - Urgência (0 a 1)	0 - Deterioração insignificante. Estrutura como nova. 5 - Ruína. Reparação Imediata.
Espanha (Madrid - Geocisa)	0 a 100 (5 níveis)	- Extensão da anomalia (1-4) - Gravidade da anomalia (0-2) - Evolução previsível (0 -2) - Influência noutros elementos (0-2)	0-20 – Nenhuma anomalia ou insignificantes. 40-60 – Anomalia em desenvolvimento. Reparação no curto / médio prazo. 80 – 100: dano muito grave. Próximo do limite estrutural. Restrições e reparações urgentes.
Finlândia	0 a 4	- Gravidade da anomalia - Urgência de reparação	0 – normal 4 - gravoso
França (Direcção de Estradas)	1, 2, 2E, 3 3U NE (não avaliada)	- Gravidade da anomalia. - Urgência da reparação (2E e 3U).	1 – ponte em bom estado. 3 – Grandes anomalias estruturais. Não urgente. U - Urgência ditada pelas classificações 2E e 3U.
Itália (SPEA)	0 a 7	- Gravidade da anomalia - Estágio da anomalia - Urgência da reparação	0 – Sem defeitos. Apenas manutenção de rotina. 4 – Defeitos em desenvolvimento mas não urgentes. Reparação nunca antes de 5 anos. 7 – Danos reduzem coeficiente segurança. Reparação nos próximos 2 anos.
Noruega	1 a 4	- Gravidade da anomalia	1 a 4 – anomalia ligeira a critica; 9 – não inspeccionada B, T, v, M - Impacto na capacidade de carga (B); Segurança de tráfego (T); Incremento custos manutenção (V); Danos ambiente, estéticos (M)
	B, T, V, M	- Impacto da anomalia	
Polónia (Ibdim)	5 a 0	Avaliação da Estrutura	Avaliação baseada na experiência do inspector (sem catálogo de defeitos). 6 níveis: 5 – adequada / 3 – alarmante / 0 - Emergência
Reino Unido (TRL)	A - D	Extensão da anomalia	A – Sem defeitos; D - extensa, mais de 20%
	1 – 4	Gravidade da anomalia	1 – Sem defeitos; 4 – anomalias graves
	A, ..., S	Tipo de trabalho a fazer	Nova pintura, reparação, substituição , etc.
	H – M – L	Urgência de actuação	Alta; Média; Baixa
Suíça (KUBA-MS)	1 a 5	Gravidade da anomalia	Nível 1: sem defeitos ou insignificantes Caracterização ao nível do elemento - Nível 9 - Excelente / Nível 0 – Rotura iminente
E.U.A. (FHWA - NBI)	0 a 9 (componentes) Bom a mau (elementos)	- Avaliação estado da ponte - Funcionalidade da ponte - Importância da ponte - Urgência de Actuação	- Conjugações destes factores calculam o FSR (Federal sufficiency rating) - Avaliação da Ponte e dos 4 principais componentes (Tabuleiro, Superstrutura, Substrutura, Fundações)
Califórnia, E.U.A (Dep. Transportes)	1 a 5 (elementos) e Health Index (ponte)	- Gravidade da anomalia - Avaliação de elementos em percentagem de custo de rotura e para o utilizador	- Inspeção mais detalhada que NBI. (160 elementos - AASHTO CoRe Elements). - Nível 1: Protegido / Nível 5: Falha do elemento. - Health Index: 0 a 100 (100 – melhor nível)
Pennsylvania, E.U.A. (Dep. Transportes)	A a E e AF	Importância para a estabilidade estrutural	A – máximo impacto na segurança E – Sem impacto; AF- problemas de fadiga
	0 – 5	Urgência de actuação	0 – Imediato; 5 – manutenção rotineira
	Parte A, B, C	Importância da ponte	A - Classificação da estrada; B – rede em que se insere; C – Tráfego médio diário e comprimento de desvio
	Parte A e B	Funcionalidade da obra de arte	A – estado geral da ponte B – Capacidade de carga

Tabela 2-11 - Níveis de avaliação do estado de conservação em diversos sistemas de gestão de pontes

A análise da Tabela 2-11 demonstra que existem diferentes formas de quantificar o estado de conservação de uma ponte, consoante o país.

Assiste-se de uma forma geral a dois tipos de análise;

1. Baseada em índices de estado cumulativos obtidos de uma soma de pesos de todas as avaliações do estado de cada elemento da estrutura.
2. Atribuir à ponte o maior índice de anomalia verificado nos principais componentes da ponte, dando também referência à importância da ponte.

O número de níveis de avaliação de conservação de elementos mais utilizado é cinco (1 a 5). Este número permite menos subjectividade de análise, quando comparado com os 9 elementos do NBI norte-americano. Quase todos os índices têm associada uma descrição do estado de deterioração do elemento ou da ponte, o que contribui também para diminuir a subjectividade.

De uma forma geral, todos os sistemas utilizam manuais de inspecção, sendo que apenas na Polónia se encontrou referência de não utilização (SAMCO, Final report, 2006).

Muitos sistemas associam também a fase de desenvolvimento em que a anomalia está à maior ou menor urgência de actuação (casos do Reino Unido, Pensilvânia, FHWA, França, Dinamarca, Itália, etc.). Noutros sistemas, procura-se também avaliar a extensão da anomalia e o efeito que poderá ter noutros elementos e na funcionalidade.

A existência de apenas quatro grandes componentes a avaliar numa ponte na regulamentação federal norte-americanas (NBI) não permite definir com facilidade estratégias de reparação específicas. Estes componentes (tabuleiro, superestrutura, subestrutura e fundações) implicam avaliações muito generalizadas, com a consequente subjectividade e dispersão de análise. Esta foi uma das principais razões que levaram recentemente à evolução em muitos Estados norte-americanos para uma análise mais refinada, ao nível dos elementos.

A definição de elementos foi estabelecida por norma da AASHTO, denominando-se "*Core Element Manual*" (cerca de 160 elementos normalmente encontrados nos mais diversos tipos de pontes). A análise utiliza normalmente cerca de 10-12 elementos em cada ponte.

De destacar a existência de sistemas que não se ficam pela avaliação da deterioração estrutural da ponte, procurando medir também o seu efeito no nível de serviço prestado aos utilizadores da ponte (maioritariamente países do Norte da Europa e Estados Unidos da América).

Em Portugal, a presença do mesmo sistema em muitas entidades (GOA, da BETAR, Consultores, Lda.) poderá levar à uniformização do sistema de avaliação de conservação de pontes.

## 2.4.4. MODELOS DE DETERIORAÇÃO E SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO

### 2.4.4.1. Modelos de deterioração

Os modelos de deterioração mais utilizados (E.U.A. e norte da Europa) são modelos probabilísticos, que procuram prever a probabilidade de um elemento ou parte dele passar de um nível de conservação para o seguinte. O modelo mais utilizado é o de Markov, que assenta a análise probabilística na situação actual dos elementos, não tendo em conta nenhum dado anterior.

No quadro seguinte mostram-se os modelos de deterioração que são utilizados nalguns dos sistemas de gestão de pontes mais avançados na optimização de estratégias de conservação.

Sistema	Modelo de Deterioração de apoio à Decisão	Parâmetros
Finlândia	- Nível da rede viária: Modelos probabilísticos de Markov. - Nível de projecto utiliza um modelo determinístico.	Utiliza cerca de 25 modelos probabilísticos por tipo de material, estrutura, técnicas de construção e classificados em dois tipos de ambiente.
Pontis e Califórnia (CALTRANS)	Modelos probabilísticos de Markov	
KUBA-MS Suíça	Modelos probabilísticos de Markov	- Actualização de modelos por análise estatística dos dados recebidos pela inspecção (processo de auto-aprendizagem). - Optimização num horizonte de 2 a 5 anos.
Pensilvânia Indiana, E.U.A. (Dep. Transportes)	Curvas de deterioração do estado da ponte e da sua capacidade de carga Árvores de decisão e Modelos de Markov numa previsão a 5 anos	
Oregon, E.U.A. (Dep. Transportes)	Curvas de deterioração	Têm em conta: - Material da estrutura - Exposição ambiental - Época de Projecto (antes ou depois de 1975)
Ontario, Canadá	Modelos de Markov para previsão ao nível da rede viária	. Utiliza factores de ajustamento para adaptar ao nível da ponte.

Tabela 2-12 Modelos de deterioração em sistemas de gestão de pontes

Os sistemas de gestão que incorporam modelos de deterioração utilizam os dados recolhidos na inspecção no aperfeiçoamento destes modelos.

No projecto *BRIME* e no projecto *Sustainable bridges*, são referenciados alguns estudos relativos a modelos de degradação com análise não linear e algoritmos genéticos, baseados na teoria de evolução das espécies.

#### **2.4.4.2. Apoio à decisão**

A optimização das acções de manutenção dos sistemas de gestão mais modernos assentam em larga maioria na utilização de processos de decisão com análises custo-benefício. Para isso quantificam-se custos globais das pontes (Brito, 1992 e BRIME, 2001) utilizando nos seus cálculos os custos de construção (investimento inicial), de inspecção, de manutenção, de reparação, de rotura, de substituição e também os custos para o utilizador (funcionais).

Esta análise procura minimizar os custos inerentes a cada opção de manutenção mantendo a fiabilidade da ponte acima de um valor mínimo admissível. Os benefícios de uma opção de conservação (manutenção corrente, reparação, reabilitação profunda) encontram-se pela comparação dos seus custos e efeitos em relação aos que resultarão da opção de nada fazer.

Verifica-se em vários modelos (Finlândia, Dinamarca, Pontis) uma diferenciação dos processos de optimização ao nível da rede viária (com várias pontes) e ao nível da ponte.

Os sistemas aqui apresentados foram seleccionados por se apresentarem de alguma forma já preparados para realizar análises de suporte à decisão. Estes sistemas são excepção à regra, já que a maioria dos sistemas europeus está ainda em fase de normalização, não tendo ainda módulos automatizados de apoio à decisão (Cruz, Paulo J.S. 2006).



### 3. GESTÃO DE PONTES

#### 3.1. INTRODUÇÃO

De acordo com um estudo realizado (BRIME, 2001) as pontes representam em média 30% do custo da rede viária europeia, sendo que a sua extensão representa apenas 2%. Estas são essenciais a que se possam atravessar obstáculos naturais (rios, canais, vales) e obstáculos criados pelo homem, permitindo acesso a comunidades isoladas.

Nos últimos 15 anos a estratégia de desenvolvimento de longo prazo em Portugal assentou no desenvolvimento de uma rede de infra-estruturas de transporte moderna, com especial destaque para as infra-estruturas rodoviárias e ferroviárias. Esta estratégia irá implicar a adopção de estratégias de conservação que garantam a sustentabilidade da utilização destes activos tão valiosos ao longo do período de vida para que foram dimensionados.

A gestão de pontes procura auxiliar no planeamento de acções de conservação e reforço de pontes, tendo como objectivo principal garantir a segurança e qualidade de serviço, optimizando o uso dos recursos disponíveis. Uma das ferramentas essenciais a este planeamento é o sistema de gestão de pontes.

Este sistema de gestão de pontes deve estar associado a ferramentas que apoiem a gestão a vários níveis, nomeadamente:

- Nível da rede viária, auxiliando na definição de estratégias de conservação globais.
- Nível da ponte, auxiliando na tomada de decisão de opções de conservação.

O aumento progressivo dos fundos dispendidos em manutenção e conservação devem ser tomados de uma forma eficiente, procurando tomar as decisões baseadas em aspectos técnicos e económicos, tendo também sempre em conta os factores sociais e ambientais. Uma das ferramentas mais utilizadas na gestão de infra-estruturas de transporte é a Análise de Custos ao longo do ciclo de vida. Esta análise permite ao cliente obter uma estimativa dos custos de curto e longo prazo em que incorrerá com uma ponte. Permite também estimar, embora seja mais complicado, os benefícios que a construção da nova ponte trará para o desenvolvimento da sociedade e os custos que a interrupção ou restrição de circulação trarão para os seus utilizadores.

Neste capítulo serão descritos os períodos em que se desenvolve a gestão de pontes, o modelo corrente de Sistema de Gestão de Pontes e a Análise de Custos ao longo do ciclo de vida da ponte.

### 3.2. ENQUADRAMENTO

A gestão de pontes deve acompanhar todo o ciclo de vida de uma ponte, que se inicia na fase de concepção e termina com o fim da vida útil da ponte. Esquemáticamente pode dividir-se o ciclo de vida das pontes em duas fases:

1. Concepção, Projecto e Construção – Gestão preventiva
2. Serviço (vida útil) – Gestão preventiva (Inspeção e Manutenção) e reactiva (Reparação)

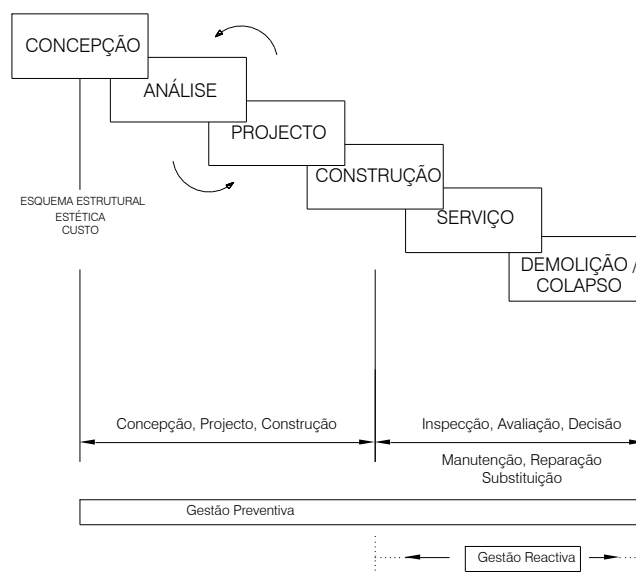


Figura 3-1 Ciclo de vida de uma ponte (baseado em: Ryall, 2001)

Normalmente, estão associadas a tarefas de conservação duas formas de gestão:

- Gestão Preventiva
- Gestão Reactiva

À gestão preventiva correspondem um conjunto de acções criteriosas e sistemáticas que se desenvolvem independentemente da ocorrência de qualquer anomalia, falha ou ruptura de uma infra-estrutura, com o objectivo de prolongar a respectiva vida útil, reduzir ocorrências de anomalias (dentro de determinados limites económicos) e a



duração dos períodos de indisponibilidade e garantir as condições de serviço e nível de segurança previsto. Para alcançar esse objectivo devem definir-se planos de inspecção e manutenção preventiva (período de vida útil das pontes) mas também procurar trazer esta prevenção mais a montante, actuando já na fase de concepção e projecto e na garantia de qualidade de construção.

A gestão reactiva surge normalmente associada a eventos de carácter extraordinário como desastres naturais (sismos, cheias), acidentais (colisões de veículos). Porém, a estes eventos têm-se somado outros factores que alteram a ordem normal do que foi previsto inicialmente. Desses aspectos podem destacar-se:

- a. Falta de fundos orçamentais que provoquem o não cumprimento dos Planos de Inspeção e Manutenção previstos.
- b. Utilização da ponte num período de vida útil superior ao inicialmente previsto.
- c. Deficiências de construção ou falta de qualidade dos materiais empregues, que podem implicar trabalhos de reparação e reforço avultados para garantir o período de vida útil e níveis de serviço inicialmente definidos.

A ocorrência de qualquer um destes factores pode implicar custos com o desenvolvimento de acções de inspecção especiais, reforço, reparação ou mesmo substituição da ponte. No entanto, é importante ter em consideração que estas ocorrências deverão ser sempre tidas como excepção à regra e extraordinárias.

### **3.3. SISTEMA DE GESTÃO DE PONTES**

Definição: Sistema desenvolvido com o objectivo de ajudar o gestor a otimizar o uso dos recursos disponíveis na obtenção dos melhores resultados.

Um sistema de gestão de pontes é normalmente composto por 3 módulos base:

- Base de dados
- Inspeção e avaliação
- Apoio à decisão e gestão

A base de dados serve de suporte a todos os módulos em funcionamento. Armazena dados resultantes do inventário das pontes e dados periódicos resultantes de

inspecções. A informação recolhida nas inspecções funciona como *input* aos modelos de análise. Estes são utilizados para prever o nível de conservação futuro de cada elemento da ponte e realizar cenários de actuação, assentes em estratégias de conservação.

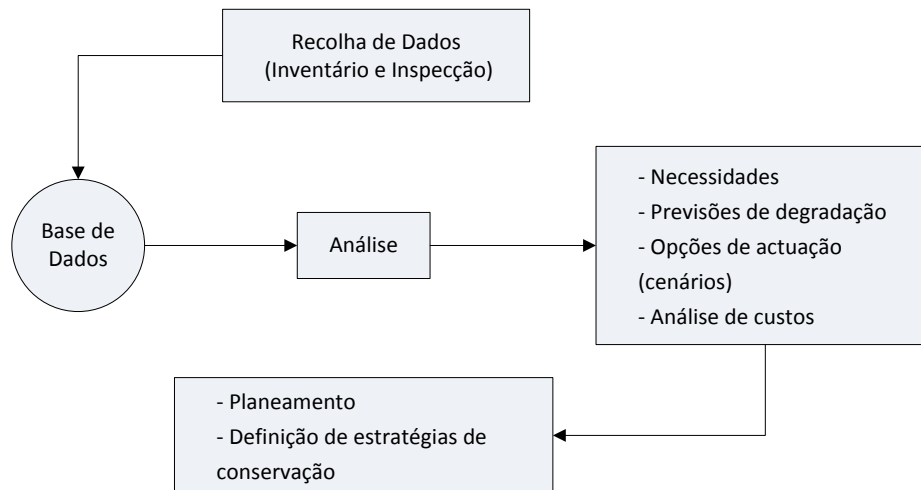


Figura 3-2 – Fluxo de actuação e de informação num sistema de gestão de pontes

Os cenários de actuação são ensaios realizados pelo gestor viário com o suporte do sistema, em que se procura prever o resultado de cada acção de conservação no nível de conservação de cada elemento. Os cenários de actuação normalmente utilizados são:

- Nada fazer
- Manutenção e reparações correntes
- Reabilitação e reparação profunda
- Substituição

A cada cenário correspondem normalmente custos da entidade viária (directos e indirectos) e custos do utilizador, bem como um benefício. A análise subjacente à avaliação deste tipo de infra-estruturas é a Análise do ciclo de vida de pontes, descrita mais à frente.

O custo da entidade viária divide-se no custo directo relacionado com a própria acção de conservação, sendo que este valor é igual a zero no cenário de nada fazer (deixar o elemento degradar-se sem actuar) e o custo indirecto por ter que sinalizar e apresentar alternativas ao serviço prestado durante a intervenção. Os custos para o

utilizador são os decorrentes da diminuição de nível de serviço por restrições de circulação impostas.

O benefício procura medir a vantagem que trará cada um dos cenários em relação ao cenário de nada fazer.

Através de uma análise custo-benefício estima-se a melhor opção a tomar. Esta análise só é possível fazer se for feita uma análise de custos do ciclo de vida com actualização de valores à data da análise. Esta actualização resulta do facto de que um custo amanhã não é o mesmo que um custo hoje, estando subjacente a esse custo uma taxa de desconto que procura relacionar custos incorridos em períodos diferentes.

### 3.3.1. ORGANIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE PONTES

A análise realizada a vários sistemas de gestão de pontes no capítulo 2 permitiu retirar algumas conclusões sobre que módulos devem obrigatoriamente compor um sistema de gestão de pontes eficiente e de suporte à decisão. Na tabela seguinte mostram-se os principais módulos que o deverão compor e as principais funções.

Módulo	Função
Base de dados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Armazenamento de dados de Inventário</li> <li>- Registo de Inspeção</li> <li>- Registo de avaliação (históricos de nível de avaliação, capacidade de carga)</li> <li>- Apoio à decisão (previsão de deterioração e de custos)</li> <li>- Sistemas de Informação para consulta de dados.</li> </ul>
Inspeção	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inventários (Recolha de informação)</li> <li>- Inspeções regulares</li> <li>- Manuais de Inspeção (tabelas e fotografias)</li> </ul>
Avaliação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avaliação do nível de conservação               <ul style="list-style-type: none"> <li>. Avaliação Funcional</li> <li>. Avaliação Estrutural</li> </ul> </li> </ul>
Apoio à Decisão e Gestão	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modelos de previsão               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelos de deterioração</li> <li>- Construção de cenários</li> <li>- Previsão de Custos futuros e actuais (da entidade gestora e do utilizador).</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestão de actividades               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutenção</li> <li>- Reparação</li> <li>- Reforço ou substituição</li> <li>- Impacto das acções no nível de serviço e segurança</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apoio à gestão               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Orçamentação de trabalhos</li> <li>- Definição de necessidades orçamentais.</li> <li>- Ordenação de prioridades de financiamento</li> </ul> </li> </ul>
Transportes Especiais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apoio à definição de percursos para transportes especiais</li> <li>- Registo de ocorrências de transportes especiais</li> </ul>
Gestão Documental e Certificação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestão de Indicadores de Qualidade de serviço prestado na rede viária</li> <li>- Higiene e Segurança</li> <li>- Qualidade</li> </ul>

Tabela 3-1 – Módulos de um Sistema de Gestão de Pontes

O módulo central de um sistema de gestão é a sua base de dados. Nela reside toda a informação necessária que alimenta os restantes módulos do sistema, devendo ser regularmente actualizada com dados de inspecção e das acções de conservação adoptadas.

Normalmente, a construção de um sistema de gestão de pontes começa pela inventariação de todos os activos (pontes) e carregamento de resultados de anteriores inspecções, construindo assim a base de dados. Para que esse sistema possibilite futuros desenvolvimentos (por exemplo, aperfeiçoar os modelos de previsão de deterioração futura, baseando-os em dados reais) é importante apostar na sua organização e definição inicial, adoptando um normativo de codificação logo desde o início, nomeadamente no que se refere aos elementos constituintes de uma ponte, ao sistema de inspecções, aos níveis de conservação adoptados na avaliação e às acções de conservação. A garantia de qualidade de informação recolhida é mais importante do que possuir um sistema tecnologicamente sofisticado.

No anexo A.1 é apresentada uma proposta do que deverão ser os elementos gerais de uma base de dados para um sistema de gestão de pontes. A proposta desenvolvida detalha os parâmetros relativos à inventariação de pontes ferroviárias.

### **3.4. ANÁLISE DE CUSTOS DO CICLO DE VIDA**

O estudo de custos ao longo do ciclo de vida de uma infra-estrutura é uma das principais ferramentas de análise financeira utilizadas na concepção e estudo de infra-estruturas. Permite ao cliente obter uma estimativa dos custos de curto e longo prazo em que incorrerá com uma ponte. Permite também estimar, embora seja mais complicado, os benefícios que a construção da nova ponte trará para o desenvolvimento da sociedade e os custos que a interrupção ou restrição de circulação trarão para os seus utilizadores.

Neste tipo de análise não faz sentido utilizar custos de expropriação de terrenos já que o objectivo principal é o de comparar alternativas de projecto para a infra-estrutura.

Esta análise pode ser utilizada em várias fases da vida de uma ponte:

- Concepção e Projecto – nesta fase, esta análise inicia-se com o estudo dos custos de várias alternativas de projecto. Estimam-se os custos iniciais e os

custos ao longo da vida da ponte, que deverão ser actualizados através duma análise financeira de actualização de valores futuros para a data de análise.

- Fase de serviço (vida útil) – numa gestão eficiente de pontes, torna-se necessário estimar ao longo da vida útil da rede viária e das pontes em particular qual a melhor acção de conservação a adoptar. Esta análise é particularmente importante na ajuda à decisão de grandes intervenções de reparação, em comparação com a alternativa de substituição.

Antes de descrever resumidamente os custos que intervêm numa análise do ciclo de vida duma ponte, vai ser descrito o método de actualização de custos, denominado Análise a preços correntes.

### 3.4.1. ANÁLISE A PREÇOS CORRENTES

Quando se está a analisar componentes de custos ou benefícios a ocorrer em datas diferentes, estes deverão ser actualizados, para o momento de análise. Esta constitui uma das regras de ouro do cálculo financeiro que refere que qualquer operação matemática sobre dois ou mais capitais requer a sua homogeneização no tempo. Um euro hoje não tem o mesmo valor daqui a um ano (ou mesmo amanhã), devido ao custo de oportunidade que poderia ter sido ganho entre hoje e a data futura.

A metodologia de cálculo financeiro consiste na actualização de somas futuras, que poderá ser feita a partir da seguinte equação:

$$VA = \frac{VF_n}{(1+i)^n} \quad \text{Eq. (3.1)}$$

em que:

- VA – valor actual

-  $VF_n$  – valor futuro a ocorrer no ano n

- i – taxa de desconto real (se utilizarmos preços constantes) ou nominal (se preços correntes), sendo que:

$$(1+K_n) = (1+K_i) (1 + K_r) \quad K_n = (1+ K_i) (1+K_r) -1 \quad \text{Eq. (3.2)}$$

$K_n$  = taxa de actualização nominal

$K_i$  = taxa de inflação

$K_r$  = taxa de actualização real

O valor a usar em Portugal para a taxa de desconto poderá ser o definido para análise de projectos de parcerias público privadas, contidos no Despacho n.º 13 208/2003 (2.ª série) do Ministério das Finanças (Cruz, Paulo J. S. 2006) . Nele se refere que deverão ser utilizados:

Taxa anual de inflação – 2,0 %

Taxa de desconto real – 4,0 % (Taxa de desconto nominal – 6,08%)

### 3.4.2. CUSTOS DO CICLO DE VIDA DE UMA PONTE

A construção de uma estrutura de utilidade pública deve ser encarada como um investimento, do qual se espera que os benefícios sejam superiores aos custos. Aos custos iniciais de projecto e construção somam-se os custos de manutenção e reparação incorridos ao longo da sua vida útil. Quando o seu nível de serviço já não justifica a sua utilização, soma-se a estes os custos de substituição e de valor residual.

Os custos a ter em conta são normalmente:

$$C_{total} = C_{C+Proj.} + C_{Const.} + C_{Inspec.} + C_{manut.} + C_{rep.} + C_{rotura} + C_{serviço} + C_{ambientais} - V_{Residual} \quad Eq. (3.3)$$

Em que:

Custos de uma ponte	
Custos de Concepção, Projecto e Construção	$C_{C+Proj.}$ – Custos iniciais de concepção e projecto
	$C_{Const.}$ - Custos de Construção (inclui custos de Fiscalização e de ensaios)
Custos de Vida Útil	$C_{Inspec.}$ – custos de Inspeção
	$C_{manut.}$ – custos de manutenção
	$C_{rep.}$ - custos de avaliação, reparação e reforço
	$C_{rotura}$ – custos de rotura da ponte
	$C_{serviço}$ – custos de utilização da ponte
	$C_{ambientais}$ – custos ambientais de construção e revalorização de resíduos
	$V_{residual}$ – valor residual

Tabela 3-2 – Custos do ciclo de vida de uma ponte

Estes custos devem ser inferiores aos benefícios conseguidos com a construção da nova ponte (capacidade de carga, diminuição da sinistralidade, etc.)

#### 3.4.2.1. Custos de Concepção e Projecto

Estes custos são os necessários para a concepção e projecto da ponte, incluindo:

- Estudo prévio de alternativas e concepção
- Estudos económicos

- Execução de projectos

Na estimativa destes custos podem ser utilizadas as Instruções para Cálculo de Honorários referentes a projectos de obras públicas, que atribui uma percentagem para a execução do projecto em função do valor da construção. A categoria para cálculo dos honorários depende da complexidade da ponte.

#### **3.4.2.2. Custos de Construção**

Os custos de construção incluem:

- Construção da ponte e elementos adjacentes a esta (lajes de transição, taludes de encontros, aterros de acesso e custo de demolição no caso de substituição).
- Fiscalização da obra
- Ensaios de recepção da obra

Normalmente, existem diversas entidades que separam os custos de construção da via dos das pontes. É o caso por exemplo do EP – Estradas de Portugal, que utiliza um articulado de obra e condições técnicas uniformizado de obra para obra (Sistema geral de rubricas). Assim, torna-se mais fácil distribuir os custos de fiscalização pela via e pelas obras de arte (distribuição por pesos relativos do custo de construção).

A construção de uma base de dados com rácios de custo de construção de via (custo por km) e de obras de arte por (custo / m<sup>2</sup>) facilita a análise aquando do estudo de alternativas de concepção ou de substituição da ponte.

Os custos relativos a ensaios poderão também ser estimados em função do custo de construção.

#### **3.4.2.3. Custos de Inspeção**

A realização de custos de inspeção está normalmente dividida em custos directos e indirectos.

Os custos directos, são os custos relativos a pessoal afecto à inspecção propriamente dita e aos equipamentos por estes utilizados. Os custos indirectos são os relativos à estrutura do Departamento de Conservação de uma entidade viária, tais como os custos de instalações fixas, pessoal administrativo, viaturas de apoio, direcção, etc.

A quantificação de um orçamento anual e a divisão dos custos por centros de custo (custos de novos projectos separados dos de conservação) permitirão aferir um custo

médio de inspecção ao dividir estes custos pelo número de inspecções realizadas. A divisão entre inspecções detalhadas e correntes é irrelevante para este tipo de estudo, embora possa ser estimado pelo número de inspectores ou dias que cada uma requer. Caso se entenda ser necessário a divisão de custos de inspecção por obra de arte (existem obras de arte especiais que requerem maior rigor na sua inspecção), é fácil criar contabilisticamente um centro de custo para cada obra de arte que divida os custos de inspecção entre estas.

Dos custos de inspecção devem excluir-se os relativos a avaliações estruturais extraordinárias que normalmente serão realizados por consultores externos a um Departamento de Conservação de obras de arte.

#### **3.4.2.4. Custos de manutenção**

Os custos de manutenção referem-se às acções de manutenção preventiva (limpezas, desobstrução do sistema de drenagem) e substituição de elementos, normalmente com períodos de vida útil inferiores aos da ponte. São custos distribuídos no tempo e dependem em grande parte da solução projectada.

Em estudos realizados na Alemanha e Holanda, verificou-se que os custos anuais de manutenção reais numa ponte variam entre 1% e 2% do custo inicial da construção, tendendo a aumentar com a vida útil da ponte (Brito, 1992).

Se tivermos em conta que uma ponte é projectada para durar 100 anos, poderemos estimar quanto representará este encargo a valores actuais. Assumindo que um período de 100 anos correspondem a uma perpetuidade:

$$\text{Valor actual de uma perpetuidade } R \text{ é igual } A_n = \frac{R}{i} \quad \text{Eq. (3.4)}$$

Assumindo a taxa de desconto real  $i = 4\%$  e o valor perpétuo  $R$  entre 1% e 2% de  $C_{\text{construção}}$ , estaremos a falar de custos de manutenção entre 25% e 50% do valor da construção.

#### **3.4.2.5. Custos de reparação**

Os custos de reparação referem-se a intervenções de maior envergadura relativos a reforço ou reparação de elementos normalmente estruturais, levadas a cabo quando a



integridade estrutural está ameaçada. Normalmente estes trabalhos requerem uma avaliação estrutural detalhada pelo que estes custos também deverão ser contabilizados.

Estes custos são normalmente pontuais mas representam valores muito elevados, aumentando com a idade da ponte.

#### 3.4.2.6. Custos de rotura

Os custos de rotura correspondem aos custos provocados pela interrupção total ou parcial do funcionamento da ponte (Brito, 1992). Estes custos podem dividir-se em:

$$C_{rotura} = C_{Substituição\ da\ ponte} + C_{Perda\ vidas\ humanas\ e\ custos\ materiais} + C_{Impacto\ social\ / \ ambiental} \quad Eq. (3.5)$$

Os custos de rotura estão ligados a noções de risco e fiabilidade.

Fiabilidade é um conceito probabilístico que procura definir os estados limites de uma ponte ou de um elemento desta. É expressa como a probabilidade de algum estado limite ocorrer (último ou de utilização), sendo que a rotura é o mais grave.

Nesta noção de rotura, devem também englobar-se estados limites últimos por deformação excessiva, perda de equilíbrio de elementos da estrutura, considerada como corpo rígido.

A existência de um risco pressupõe a possibilidade de algo ocorrer. A tabela seguinte procura expressar os riscos relativos do colapso de uma ponte em relação a outras acções.

Acção	Ocorrência de Mortes em cada 100 milhões de horas de exposição ao risco
Viagem de helicóptero	500
Viagem de avião	120
Passeio a pé junto a estrada	20
Viagem de automóvel	15
Construção (média)	5
Colapso de edifício	0.002
Colapso de uma ponte	0.000002

Tabela 3-3 – Riscos diários (Ryall, 2001)

A rotura estrutural ocorre quando a resistência  $R$  é excedida pelos esforços internos  $S$  resultantes das acções exteriores. Como ambos são valores probabilísticos, é possível

associar uma probabilidade  $P_f$  à rotura estrutural, sendo que esta depende do esquema estrutural, da idade da ponte e grau de deterioração. O risco estrutural é definido por:

$$\text{Risco} = \text{Probabilidade de Rotura } (P_f) \times \text{Consequências de rotura (Custos de rotura } C_f) \quad \text{Eq. (3.6)}$$

O cálculo da probabilidade de rotura  $P_f$  deve resultar de análises que tenham em conta mecanismos de deterioração fiáveis que englobem na sua determinação os resultados de inspeções e avaliações estruturais. A observação de resultados históricos de deterioração de pontes tem permitido a utilização de matrizes de transição probabilística na determinação da deterioração de pontes.

As consequências de rotura  $C_f$  agrupam-se em custos de substituição da ponte, custos de perda de vidas humanas e equipamentos e custos de impacto social e ambiental.

#### **i. Custos de substituição da ponte**

Estes custos devem incluir os resultantes da remoção de detritos da antiga ponte, da construção de uma nova ponte (incluindo projectos), custos de manutenção e os custos de interrupção de serviço da ponte.

No entanto, caso a substituição ocorra ainda no período de vida útil da ponte existente, estes custos devem ter em conta a diferença entre os custos de substituição da ponte que ruiu e os custos que se teria ao substituí-la no fim de período previsto de vida útil. São valores que não se devem duplicar e que deverão ter em conta ainda o facto de se verificarem em períodos diferentes (com a necessária actualização de valores) e com o valor residual da nova obra de arte no fim da vida útil residual da existente, caso esta não ruísse.

#### **ii. Custos de perda de vidas humanas e custos materiais**

Devem reflectir o valor que a sociedade está disposta a pagar para evitar a perda de vidas humanas, o valor dos veículos destruídos e a interrupção de serviços (electricidade, gás ou condutas de água) que existam na ponte.

Estes custos podem ser aferidos junto a seguradoras e deverão ter em conta estudos de tráfego esperados para a via em que a ponte se insere.

### iii. Custos de impacto social

Estes custos devem incluir os referentes ao risco de perda de pontes com elevado valor arquitectónico, histórico e cultural. São uma forma de sobrevalorizar uma ponte pela sua classificação histórica cultural (por exemplo monumentos nacionais ou património mundial como a Ponte Luiz I). A sobrevalorização desta componente de custos deve permitir que a opção de substituição seja sempre posta de lado em favor da reparação e reforço nestas pontes.

A estes custos podem somar-se os relativos ao derrame na natureza de substâncias perigosas e pelos custos ambientais associados à construção de uma nova ponte.

#### 3.4.2.7. Custos de Serviço

Estes custos referem-se às limitações de circulação impostas pelo estado de conservação da ponte ou por outro tipo de limitações. Os custos de desviar este tráfego, no caso particular das pontes ferroviárias, deverão ser considerados quase na totalidade suportados pela entidade ferroviária que normalmente terá que assegurar o transbordo entre estações a montante e jusante da ponte encerrada ou em manutenção. Estes custos são:

$$C_{\text{Serviço}} = C_{(\text{imobilização de equipamento circulante} + \text{pessoal})} + C_{(\text{Subcontratação de transporte alternativo})} \quad \text{Eq. (3.7)}$$

Normalmente em obras ferroviárias ou próximas de corredores ferroviários, o tempo de interrupção da circulação é muito limitado, sendo normalmente só à noite, que demonstra bem a importância destes custos.

#### 3.4.2.8. Custos ambientais

Os custos ambientais estão associados ao grande impacto que o sector da construção tem no meio ambiente. A construção é responsável por 50% da matéria-prima extraída do Planeta.

Estes custos são cada vez mais importantes e estão associados a um conceito de desenvolvimento sustentável baseados em princípios ecológicos e de utilização eficiente dos recursos.

Será natural que no futuro se venham a impor taxas ou impostos pela utilização de recursos naturais de uma forma menos eficiente. No entanto, a contabilização destes custos ainda é difícil de realizar.

#### **3.4.2.9. Valor residual**

Este factor é importante caso se estejam a fazer análises para períodos inferiores ao período de vida útil de uma ponte.

Pode ser estimado igualando-o ao valor da construção aquando da entrada da ponte em serviço e igual a zero no fim do seu período de vida útil. É um conceito semelhante ao de amortização de um activo.

## 4. PREVENÇÃO EM FASE DE CONCEPÇÃO, PROJECTO E CONSTRUÇÃO

### 4.1. INTRODUÇÃO

A fase de concepção, projecto e construção é determinante para o futuro de qualquer infra-estrutura, tornando-se ainda mais importante no caso de querermos que o período de vida útil dessa infra-estrutura cumpra os 100 anos de funcionamento.

Caso a concepção e projecto da ponte tenham sido bem estudados e a construção tenha sido executada com os padrões de qualidade exigidos, não deverão ser necessárias mais acções de conservação durante a vida útil de uma ponte, exceptuando as de carácter preventivo, que terão que ser definidas na fase de projecto.

Excluem-se destas acções as que dizem respeito ao aumento da funcionalidade de uma ponte. Elas poderão ou não estar previstas na fase de concepção, podendo a ponte ficar dimensionada em termos de espaço para esse aumento, mas necessitar de reforços aquando do aumento de funcionalidade (como aconteceu na Ponte 25 de Abril).



Figura 4-1 – Aumento de funcionalidade - via ferroviária na ponte 25 de Abril

No anexo A.2 e A.4 é apresentado um conjunto de especificações para pontes metálicas treliçadas de via ferroviária. São desenvolvidas recomendações de projecto e construção e são definidos os elementos deste tipo de ponte.

## **4.2. CONCEPÇÃO**

É nesta fase que se procede à análise do investimento a efectuar na ponte e se estudam diversas alternativas. Num bom processo de gestão, deve-se nesta fase ter em atenção ao seguinte:

- a. Estudo definidor dos objectivos de construção baseado em estudos de tráfego e num plano de necessidades actuais e futuras (período igual ao da vida útil da ponte). Este estudo deverá permitir definir o número de faixas de circulação em cada sentido (podendo ser deixado já espaço para alargamentos) e a capacidade de carga em função da carga circulante que a ponte deverá garantir (por exemplo, passageiros e/ou mercadorias, rede de alta velocidade ou mista, etc.).
- b. Definir o Período de vida útil (normalmente 100 anos)
- c. Estudo climático e ambiental da envolvente à ponte.
- d. Tipo de material e de estrutura – neste ponto pode desde já ser equacionado qual o tipo de material e concepção estrutural a aplicar na ponte. Na sua escolha interferem os dois pontos descritos anteriormente, bem como condicionantes geográficas e de infra-estruturas próximas a ter em conta.
- e. Estudo económico do custo total do ciclo de vida
- f. No caso de uma Concessão, definir o modelo de conservação a cumprir pelo concessionário.

### **4.2.1. ESTUDO ECONÓMICO**

O estudo de custos ao longo do ciclo de vida de uma infra-estrutura é uma das principais ferramentas de análise financeira utilizadas na concepção e estudo de infra-estruturas. Permite ao cliente obter uma estimativa dos custos de curto e longo prazo em que incorrerá com uma ponte.

Este conceito de custos do ciclo de vida tem ainda o efeito de colocar a questão aos projectistas, consciencializando-os da importância da durabilidade da ponte e não de apenas pensarem numa estrutura otimizada de baixo custo de construção.

Na fase de concepção estudam-se várias alternativas de projecto, sendo que para cada alternativa poderão variar os custos de manutenção e o período de vida útil da estrutura.

Os custos a ter em conta na fase de concepção são normalmente:

$$C_t = C_{\text{Proj.}} + C_{\text{Const}} + C_{\text{Inspec}} + C_{\text{manut}} + C_{\text{reparação}} + C_{\text{rotura}} + C_{\text{serviço}} + C_{\text{ambientais}} - V_{\text{Residual}} < \text{Benefícios} \quad \text{Eq.(4.1)}$$

Nesta fase alguns destes custos serão de maior importância que outros.

Os custos de construção e manutenção dependem muito da opção adoptada devendo ser ponderado o benefício de economizar ou não na fase de construção. Recorde-se que os custos de manutenção podem chegar a ser da ordem de 50% dos de construção.

Outra grandeza que pode variar é o período de vida útil da ponte. O valor residual da estrutura adquire aqui um factor de correcção na comparação de pontes com diferente vida útil. É importante também ter em conta que para cada solução poderão ter elementos com diferentes períodos de vida útil (diferentes tipos de aparelhos de apoio e juntas de dilatação).

Os custos de inspecção e de rotura não deverão ser muito diferentes entre as alternativas mas deverão ser considerados. Os custos de rotura poderão nesta fase resumir-se a custos de seguros, em princípio muito semelhantes para cada alternativa.

Caso se preveja na fase de concepção a necessidade de reforço da estrutura durante a sua vida útil (por exemplo para aumento de capacidade de carga ou alargamento), os custos de reparação e reforço deverão ser usados. Caso contrário, não faz muito sentido pois é difícil prever se serão ou não necessários.

Os custos totais deverão ser inferiores aos benefícios gerados com a ponte (capacidade de carga, fluidez de tráfego, redução de distância percorrida em relação a percurso alternativo, etc.).

#### **4.2.2. MODELO DE CONTRATAÇÃO EM REGIME DE CONCESSÃO OU DBFO**

Por ser cada vez mais uma prática a nível europeu, julga-se importante referir algumas precauções a ter na fase de concepção, relativamente ao modelo de contratação de parcerias.

Os donos de obra públicos (EP - Estradas de Portugal, REFER e outros) deverão acautelar que após a conclusão do período de concessão, a infra-estrutura seja revertida para a entidade pública em bom estado, não implicando para estas custos exagerados de manutenção ou substituição de infra-estruturas.

Estes períodos de concessão são normalmente de 30 anos, pelo que no caso das pontes ainda existirão cerca de 70 anos de conservação após o fim do período de concessão.

Dever-se-á definir nos Cadernos de Encargos e nos Manuais de Procedimento do lançamento de projectos em regime de DBFO (Concepção, Construção, Financiamento e Operação) ou Concessão regras muito claras relativamente às estratégias de conservação e procedimentos a adoptar na conservação das pontes, não esperando que estas sejam definidas pelo concorrente.

Deverá haver uma atenção muito especial dos donos de obra neste tipo de contrato, já que poderá haver a tentação natural do parceiro privado, responsável pelo financiamento, desenvolver projectos que lhe garantam baixos custos iniciais de construção (altura em que precisará de mais financiamento) em detrimento de custos de conservação bem mais elevados. Ao optar-se por esta estratégia pode incorrer-se em riscos imprevisíveis de conservação e menores níveis de segurança e serviço para os utentes, com os custos globais daí decorrentes para o erário público, para os utilizadores e para o concessionário.

Uma forma de precaver esta situação poderá passar por prever desde o início que a inspecção e avaliação das pontes em redes viárias contratualizadas em modelos DBFO ou Concessão ficarão a cargo de uma entidade independente, aplicando multas contratuais caso não se assegure a conservação desejada (Ryall, 2001).



### 4.3. PROJECTO

Uma ponte é concebida para uma vida útil de 100 anos (EN1993-2, 2004), logo não é eterna. Qualquer que seja o tipo de construção ou o material adoptado, mais cedo ou mais tarde os efeitos da deterioração irão surgir. No entanto, apesar da crescente preocupação em prolongar a vida útil das estruturas, podemos afirmar que para a generalidade dos projectistas, o adequado tratamento das questões relacionadas com a durabilidade ainda não é tão acessível como o dos aspectos estruturais (Cruz, Paulo J. S. 2006).

Na fase de projecto é importante tomar opções que tenham em conta factores que interferem com a durabilidade da estrutura, nomeadamente:

- Acções de dimensionamento – as acções de cálculo têm aumentado com a evolução dos veículos circulantes, pondo em causa a resistência e o dimensionamento de pontes mais antigas.
- Tipo de estrutura e material – existem esquemas estruturais mais susceptíveis de degradação do que outros. Deve adaptar-se a estrutura ao material que a compõe.
- Pormenores construtivos – podem ter uma influência muito grande na durabilidade da estrutura, do qual são exemplos pormenores construtivos que impeçam a eficaz drenagem de água e a reparação de pinturas numa ponte metálica.
- Inspeção e Conservação – ao definir o período de vida útil de uma ponte pressupõe-se que esta será convenientemente conservada, pelo que a inexistência de um processo de gestão preventivo inviabiliza todos os esforços de durabilidade propostos na sua concepção.
- Qualidades de Construção.

A regulamentação é muito genérica no que diz respeito à conservação, sendo um dos principais motivos pelos quais não é dada ainda muita importância à durabilidade das estruturas.

No REBAP é feita uma breve referência à manutenção das estruturas (apenas no art. 176º). É referida a necessidade de realizar inspecções regulares (1 a 5 anos nas pontes rodoviárias e 1 a 2 anos nas ferroviárias) e reparações adequadas. Da mesma forma, no art. 74º do REAE é referida a necessidade de manutenção e inspecções regulares.

As normas europeias, nomeadamente o Eurocódigo 2 e 3, já dão uma maior importância a este assunto, sendo mais exaustivos na descrição de pormenores a adoptar com vista à conveniente manutenção das pontes.

Porém, ainda não existem regulamentos específicos para esta matéria em Portugal à semelhança do que existe nos E.U.A, o que leva a que sejam as próprias entidades responsáveis pelas obras de arte a fazer as suas próprias regras internas de gestão da conservação das suas infra-estruturas.

#### **4.3.1. PROJECTO DE DURABILIDADE**

Na fase de projecto devem ser realizados estudos para garantir que se atingirá a vida útil definida, tendo em conta os fenómenos de deterioração.

Dos elementos técnicos que compõem um projecto de execução deve passar a existir um Projecto de durabilidade cujas principais recomendações devem ser indicadas nas especificações técnicas e em desenhos com pormenores construtivos bem detalhados.

Num projecto de durabilidade, deve-se incluir e ter em conta:

- Especificação da vida útil da ponte.
- Análise das condições ambientais envolventes
- Definição dos mecanismos de deterioração e desenvolvimento de um modelo que permita a sua simulação (mais comum para pontes especiais).
- Definição do material e sua durabilidade – a definição de materiais especiais, como por exemplo o betão de alto desempenho (mais compactos e menos permeáveis) ou a utilização de aço inoxidável (caro mas muito eficaz na resistência à corrosão).
- Esquema Estrutural – existem esquemas estruturais mais susceptíveis de deterioração dos materiais que outros. Deve-se adaptar a estrutura ao material que a compõe.

- Acções de dimensionamento – têm aumentado com a evolução dos veículos circulantes, pondo em causa a resistência e o dimensionamento de pontes mais antigas (importante ter em conta em projectos de reforço de pontes existentes).
- Mapa de deformações e tolerâncias - As pontes e os seus elementos devem ser dimensionados para minimizar danos devido a deformações excessivas, deterioração, fadiga e acções acidentais. Os elementos estruturais aos quais estão ligados guardas e guarda-corpos devem permitir a estes elementos que se deformem sem provocar danos nos elementos estruturais (EN1993-2, 2004).
- Construção – elaborar um conjunto de especificações técnicas que assegurem a qualidade de construção (Caderno de Encargos).
- Proposta de Plano de Monitorização e identificação de Elementos Críticos - do projecto de durabilidade devem constar os elementos críticos da estrutura, aos quais deve ser dado um acompanhamento especial na inspecção ou monitorização (treliças metálicas, cavilhas de suspensão, elementos metálicos sujeitos a esforços de tracção, etc.).

Além destes requisitos, este projecto deverá ser feito prevendo que a ponte esteja dimensionada de forma a assegurar que quando um dano lhe ocorra, possa pelo menos assegurar a combinação acidental de acções (EN1993-2, 2004).

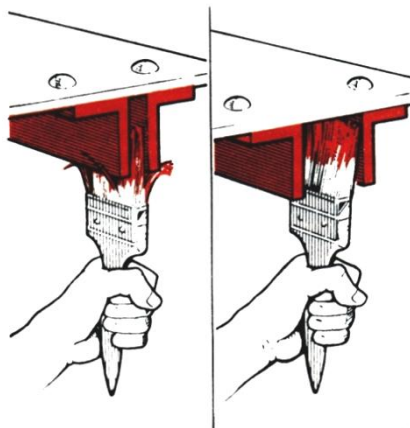
#### **4.3.2. PORMENORES CONSTRUTIVOS**

A fase de projecto é determinante na durabilidade da ponte, pelo que deve ser exigido pelos donos de obra um elevado rigor na sua execução. Além disso, é importante o envolvimento do corpo técnico do dono de obra desde o início do projecto. A experiência recolhida nas inspecções e a construção de uma base de dados com uma listagem de pormenores a evitar na concepção e projecto poderão ser uma excelente ajuda ao projectista.

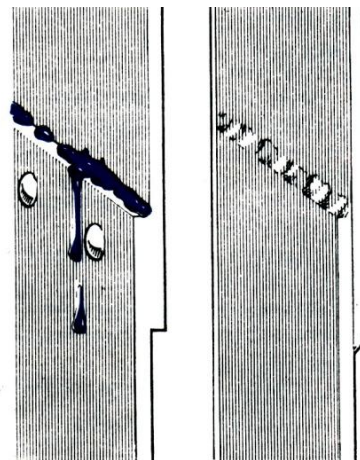
A título de exemplo, alguns dos pormenores que podem ter uma influência muito grande na durabilidade da estrutura:

- Secções transversais em aço maiores (tensões mais baixas) em pontes que se preveja virem a estar sujeitas a cargas cíclicas (fadiga dos materiais).

- Tabuleiros com continuidade têm provado ser mais duráveis do que tabuleiros simplesmente apoiados (água que passa nas juntas de construção provocam manchas e corrosão nos pilares e apoios). A utilização de vãos simplesmente apoiados é favorável em casos em que se prevejam ocorrência de assentamentos diferenciais (Ryall, 2001).
- Pormenores construtivos que facilitem a drenagem de água (por exemplo furos em perfis em U).
- Pormenores que facilitem a reparação da pintura de uma ponte metálica “in situ”.



Na definição do projecto e durante a construção é sempre preciso prever espaço suficiente entre as diferentes partes, para que se possa aplicar a pintura a pincel.



As juntas sobrepostas nas construções metálicas favorecem a corrosão (a humidade instala-se aí e ataca-as). As juntas soldadas permitem o bom escoamento da água.

Figura 4-2 – Pormenores construtivos que facilitam a execução de acções de manutenção

- Pormenores que permitam a limpeza do sistema de drenagem.
- Drenagem do tabuleiro e superestrutura para uma zona que não afecte os pilares e fundações.
- Drenagem da zona das juntas de dilatação.
- Interdição de acesso de animais a espaços fechados (por exemplo, vigas caixão).
- Pormenores que permitam a substituição fácil de elementos (ligações aparafusadas, etc.).

- Aumento do recobrimento das armaduras – existem estudos que indicam que aumenta a durabilidade das estruturas de betão.

#### 4.3.2.1. Acessibilidade e Funcionalidade

Toda a concepção do projecto deve precaver a existência de acessos e equipamentos de circulação necessários às actividades de inspecção e manutenção. Deve ainda permitir a limpeza fácil de alguns elementos e dos sistemas essenciais, como são os da drenagem.

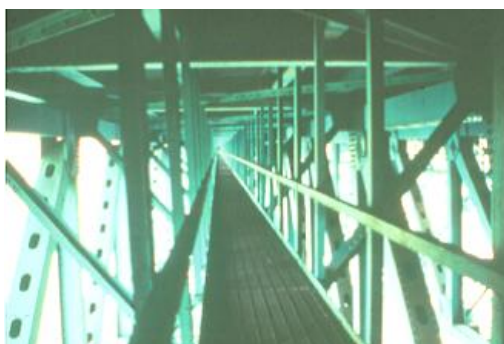


Figura 4-3 – Passadiço para manutenção e inspecção  
(Fonte: Bridge Inspector's Reference Manual, 2006)

Além disso, os pormenores construtivos deverão permitir realizar reparação e substituição de elementos com vida útil inferiores às da própria ponte. Nas pontes em que se torna necessário proceder à substituição de alguns componentes (aparelhos de apoio, juntas de dilatação, etc.), os restantes elementos devem ser dimensionados para situações transitórias ou prever já em projecto o local para colocação de meios de suporte ou elevação (por exemplo, macacos hidráulicos para substituição de aparelhos de apoio).

Em pontes ferroviárias, a manutenção deverá ser planeada de forma a permitir que na maioria das situações a circulação de comboios não seja interrompida, dado os elevados custos de imobilização e de garantia de serviço.

#### 4.4. CONSTRUÇÃO E MONTAGEM

Uma ponte pode ser bem concebida, dimensionada e projectada, mas se não for construída com os mais elevados padrões de qualidade, todo esse trabalho terá sido em vão. O controlo de qualidade é essencial na fase de construção.

Numa ponte metálica, a qualidade das soldaduras, a preparação das superfícies e da pintura, o correcto armazenamento dos materiais e a implantação geométrica dos elementos (evitando esforços por excentricidade) é essencial à durabilidade da ponte. A impermeabilização das superfícies, o funcionamento eficiente do sistema de drenagem e a verificação do alinhamento de aparelhos de apoio não deverão também ser descurados.

Em estruturas de betão, a qualidade do material, a colocação correcta das armaduras (recobrimentos das armaduras), a cura do betão e o cuidado no acabamento das superfícies do betão garantem estruturas mais duráveis.

Toda a ponte deverá ser vistoriada no fim da construção e antes de ser recepcionada, garantindo assim que não passam defeitos de construção para lá do fim do prazo de garantia.

#### **4.4.1. PROJECTO E CONSTRUÇÃO**

Um dos principais obstáculos à optimização de processo construtivo com claros benefícios para o dono de obra é o afastamento existente entre projectistas e empreiteiros.

Os resultados evidenciam que este afastamento traduz-se normalmente em alterações em obra devidos a erros de projecto ou alterações a projecto que não são devidamente acompanhadas, sacrificando normalmente a qualidade de construção e a consequente conservação da estrutura.

Num estudo realizado a projectos ferroviários em Portugal (Moura, H., Teixeira, J. 2003), verificaram-se custos devidos a pedidos de reequilíbrio financeiro ou indemnizações de cerca de 11% do valor inicial de construção, além de um aumento dos custos em média de mais 25% que o custo inicial por erros de projecto e alterações durante a construção. O prazo é também afectado, derrapando em média cerca de 85% relativamente ao prazo inicial.

## 5. FASE DE SERVIÇO (VIDA ÚTIL)

### 5.1. INTRODUÇÃO

O planeamento de inspecções regulares às obras de arte tem como objectivo assegurar que a ponte mantém os padrões de segurança e funcionalidade para que foi projectada, comparando o estado actual com um estado de referência. A inspecção de pontes é a peça chave na gestão de pontes pois, além da informação geral da ponte definida aquando da sua concepção, é a única fonte de informação relativa ao evoluir do estado da ponte.

A recolha de informação assegura o desenvolvimento técnico necessário ao aperfeiçoamento de medidas preventivas na fase de projectos posteriores, evitando a ocorrência de defeitos e ajudando a desenvolver métodos de reparação mais eficazes. Esta recolha deve ser feita por técnicos experientes e com formação adequada, devendo cada inspecção ser realizada por engenheiros ou supervisionada por estes.

Neste capítulo será descrito um modelo de plano de inspecções e, para cada inspecção, a periodicidade, procedimento, definição da equipa, objectivos e resultados da inspecção.

A Inspeção e Avaliação de uma ponte deve ser efectuada de uma forma sistematizada e normalizada para que seja eficiente e minimize a possibilidade de um elemento ser mal inspeccionado ou mal avaliado. Irá ser também apresentado neste capítulo um modelo de avaliação do nível de conservação dos elementos e da ponte.



Figura 5-1 – Inspeção detalhada

(Fonte: [www.tfhrcc.gov/pubrds/08july/images/waz1.jpg](http://www.tfhrcc.gov/pubrds/08july/images/waz1.jpg) - 28-08-2009)

Nos anexos A.2, A.3 e A.5 é apresentado um conjunto de especificações para pontes em treliça metálica de via ferroviária.

No anexo A.2 são definidos os elementos constituintes destas pontes metálicas. No anexo A.3 são identificadas as principais anomalias deste tipo de ponte, tarefa essencial à construção de tabelas de relação causa-efeito. No anexo A.5 são apresentadas recomendações de inspecção específicas para esta ponte e são apresentadas tabelas de relação causa-efeito de auxílio à inspecção e avaliação. Estas tabelas basearam-se em elementos de várias fontes, nomeadamente as existentes no sistema Pontis e do Departamento de transportes da Califórnia (CALTRANS).

## **5.2. INSPECÇÃO E MONITORIZAÇÃO**

Após a análise realizada no capítulo 2 resultante do estudo de vários sistemas de inspecção existentes, vai ser apresentado aqui um sistema de inspecção tipo que poderá ser utilizado nos sistemas de gestão de pontes.

Será realçado em primeiro lugar a importância da formação e da definição de qualificações necessárias dos técnicos envolvidos nas inspecções. Estas são uma garantia de uniformidade e qualidade de informação.

No fim será também referido o papel que a monitorização poderá ter em várias tarefas da gestão de pontes. Estas vão desde a vigilância contínua (diminuição de risco de rotura) até ao estudo do comportamento das estruturas que permitirá desenvolver modelos de previsão da deterioração mais precisos.

### **5.2.1. QUALIFICAÇÕES DOS TÉCNICOS DE INSPECÇÃO**

Os técnicos que realizam as inspecções devem ter a formação adequada às inspecções que vão realizar. Para isso deverão ter:

- a. Formação adequada em engenharia civil e estar inscritos como membros efectivos na Ordem dos Engenheiros.
- b. Frequentado curso de formação e sido aprovado em provas de conhecimentos.
- c. Experiência de inspecções de pontes. Para inspecções de pontes especiais recomenda-se que sejam realizadas por inspectores seniores (mais de 5 anos



de experiência), enquanto que para inspecções periódicas poderá ser um inspector que já tenha sido aprovado nas provas descritas anteriormente.

Os técnicos auxiliares afectos ao Departamento de gestão de pontes e afectos à linha (no caso de pontes ferroviárias) deverão ter formação no domínio da conservação de pontes.

### **5.2.2. PLANO DE INSPECÇÕES**

O plano de inspecção proposto é baseado no utilizado pela Direcção de Estradas Francesa, já que se verificou neste sistema um elevado detalhe no que se refere à sistematização da vigilância corrente e à previsão da necessidade de nalguns casos ser realizado um plano de vigilância reforçada para certas pontes especiais (ou elementos especiais).

Os planos de inspecções devem permitir alguma flexibilidade já que existem pontes que pela sua importância na rede viária, pelo risco de rotura de alguns elementos ou pelas configurações estruturais especiais (por exemplo os elementos críticos definidos pela AASHTO - vigas treliçadas, cabos de suspensão, cavilhas, etc.) deverão merecer maior atenção.

O plano de inspecções inicia-se após a construção da ponte, finda a qual se deverá proceder a ensaios e a uma primeira inspecção: Inspecção de referência. Esta inspecção realiza-se aquando da recepção provisória da obra e funcionará como base de comparação para a evolução do processo de deterioração da estrutura.

O plano divide-se em vigilância periódica (aplicada a todas as estruturas, de acordo com uma periodicidade predefinida) e vigilância especial (aplicadas apenas às estruturas nas quais foram detectadas anomalias graves).

Na Tabela 5-1 descrevem-se resumidamente os tipos de inspecções aqui previstos, sendo posteriormente descritos pormenorizadamente.

Nível de Inspeção	Descrição	Informação recolhida		
Vigilância Corrente	- Contínua: - Sistema de Monitorização Contínua	- Observação Visual: flechas importantes, obstrução da drenagem, humidades, estado da sinalização da ponte e das guardas etc. - Possível detectar defeitos graves que recomendem uma inspeção detalhada especial. - Instrumentos de Monitorização instalados nas principais pontes		
	<b>Inspeções periódicas e especiais</b>			
	- Inspeção anual de rotina	- Inspeção visual aplicável a todas as pontes para detecção de anomalias evidentes. - Equipamento de inspeção leve e simples.	- Estado do tempo, temperatura. - Referir a existência imprevista de vibrações excessivas - Exame da envolvente da estrutura, leitura de equipamento de monitorização (se existente). - Relatório escrito normalizado com propostas de trabalhos de manutenção necessários. - Proposta ou não de inspeção detalhada.	
- Inspeções detalhada.	Realizadas em pontes com mais de 10 metros e de <b>5 em 5 anos</b> (em alguns elementos ou zona pode ser anual). Para pontes com problemas de conservação ou de idade mais avançada, o intervalo entre inspeções pode passar a ser de 2 anos.	Inspeção preparada detalhadamente, chefiadas por especialista.  Uso de equipamento especial, mergulhadores, etc.	<b>1 – Referência e de Garantia:</b> detectar erros de concepção / construção. Realização de ensaios de carga e relatório extenso. <b>2 – Periódica:</b> pré-análise de inspeções anteriores e do dossier da obra. Extenso relatório de descrição, inventariação, classificação das anomalias e do estado geral da estrutura (5 categorias). Cálculos, recolha de dados de monitorização, ensaios de laboratório, inspeção subaquática, etc. <b>3 – Especial / Estrutural:</b> resulta da detecção de anomalia potencialmente grave. Só difere da periódica por ser realizada principalmente na estrutura.	.Reconhecimento visual de toda a estrutura .Distância de um braço .Nivelamento batimétrico .Mapeamento .Medição de fissuras .Relatório final . Classificação de estado por componente e global
Vigilância Reforçada	Especial. Serve para detectar o aparecimento ou acompanhar a evolução de uma situação perigosa.	- Realizada em pontes com avarias ou após situações climatéricas adversas.  - Inspeções de elementos críticos.	- Exame muito aprofundado da estrutura - Análise preliminar das causas possíveis - Identificação do mecanismo de deterioração e previsão da evolução. - Classificação da estrutura em 3 níveis possíveis. Quanto maior o nível mais rápido se devem tomar medidas. . Relatório final  . Classificação em índice de estado por componente e global	

Tabela 5-1 – Plano de Inspeções proposto

### 5.2.2.1. Vigilância contínua

A vigilância contínua serve para detectar anomalias que não necessitam de competências técnicas especiais. Esta vigilância consiste numa análise visual e deverá ser feita aquando da passagem de veículos para detectar eventuais vibrações e ruídos invulgares.

Esta vigilância desenrola-se entre duas inspecções anuais consecutivas e serve para detectar anomalias óbvias como são deformações acidentais (choques de veículos sobre os membros da estrutura) ou deformações por excesso de carga (flexão, encurvadura), realizando também as acções de limpeza e manutenção regular.

**Equipa:** Pessoal com formação específica para vigilância contínua. No caso de pontes ferroviárias, deve ser realizada por pessoal afecto à linha em que as pontes se inserem.

**Equipamento:** Não é necessário equipamento especial. Podem ser usadas câmaras fotográficas, binóculos e outros equipamentos de suporte visual.



Figura 5-2 – Equipamentos de auxílio visual numa Inspeção  
(Fonte: Bridge Inspector's Reference Manual, 2006)

**Descrição:** Inspeção visual de alguns minutos, detectando apenas defeitos visíveis.

**Resultados:** Informação breve em formato electrónico predefinido ao departamento de gestão de pontes.

### 5.2.2.2. Inspeção anual de rotina

Esta inspeção baseia-se primordialmente num exame visual dos principais elementos da estrutura. É pouco dispendiosa e pode ser realizada conjuntamente com uma inspeção mais detalhada de um elemento ou zona em especial em que tenha sido detectado algo de particular ao longo da vigilância contínua.

A inspecção anual à ponte engloba a apreciação qualitativa do estado geral da obra de arte e a medição de deformações acidentais que foram detectadas na vigilância contínua. A inspecção corrente deve permitir detectar as anomalias de rápida evolução e acompanhar o processo das detectadas anteriormente. Está limitada à observação visual directa das zonas mais expostas da ponte e à detecção de defeitos superficiais ou de eventuais causas susceptíveis de provocar futuras anomalias (por exemplo, detritos acumulados e obstrução do sistema de drenagem). Sempre que possível, uma ponte deverá ser observada aquando da passagem de veículos com cargas elevadas para verificar se existem barulhos, vibrações ou deformações excessivas.

Embora o intervalo de tempo seja anual, recomenda-se a utilização de intervalos de tempo que permitam avaliar a influência das estações do ano no funcionamento geral da ponte e na detecção de anomalias (Brito, 1992).

A Inspeção pode interferir com a normal circulação do tráfego, pelo que o seu planeamento deve ser coordenado com o pessoal afecto localmente à gestão da via em que a ponte se insere, a fim de adequar as medidas necessárias a assegurar a segurança do tráfego e dos inspectores.

### ***Equipa de Inspeção***

Deslocação de técnicos especializados em identificação de patologias do departamento de gestão de pontes, com conhecimentos de Inspeção e conhecedor da ponte em questão. Ajuda de campo por pessoal afecto à conservação da via.

### ***Equipamento***

Os equipamentos necessários para as inspeções periódicas são:

- Ferramentas de limpeza ligeiras.
- Binóculos, lanternas, espelhos, máquina fotográfica, PDA com informação de suporte, etc.
- Canivetes, martelo, chave de fendas, fita métrica, fio-de-prumo, termómetro, inclinómetro, etc.



Figura 5-3 – Ferramentas de limpeza e auxílio na Inspeção



Figura 5-4 – Ferramentas de Inspeção



Figura 5-5 – Ferramentas de medição



Figura 5-6 – Computador portátil - Suporte à inspeção

(Fonte: Bridge Inspector's Reference Manual, 2006)

- Equipamento de protecção individual e sinalização no local que está uma inspeção em curso.



Figura 5-7 – Aparelho rotativo de percussão para identificação de anomalias no betão



Figura 5-8 – Equipamento de protecção individual  
(Fonte: Bridge Inspector's Reference Manual, 2006)

### **Resultados de Inspeção**

- Preenchimento de ficha de inspeção em formato uniformizado, com classificação qualitativa (bom, a observar, mau).
- Registo fotográfico com registo do elemento a que se refere.

- Referência no relatório de inspeção de lista de pontos a observar em futuras inspeções ou vigilância contínua.

### 5.2.2.3. Inspeção Detalhada

#### i. Inspeção detalhada periódica

A inspeção detalhada é realizada de 5 em 5 anos, devendo ser observados todos os elementos da ponte, desde a via à superestrutura e subestrutura procurando avaliar e classificar todos os elementos e a ponte em geral. Esta inspeção deve permitir a análise de defeitos superficiais, deformações e deslocamento da estrutura, estado do sistema de drenagem e outros serviços que utilizem a ponte (electricidade, condutas de água, etc.). Para pontes mais degradadas ou de idade mais avançada, o intervalo entre inspeções pode passar a ser de 2 anos, devendo esta decisão ser tomada por inspectores especializados (inspector sénior).



Figura 5-9 - Inspeção principal (à distância de um braço dos elementos)

A Inspeção detalhada deve incluir:

- Inspeção de todos os elementos à distância do braço.
- Medição e recolha de amostras do material, se necessário.
- Inspeção subaquática para avaliação de possível infra-escavação das fundações.
- Nivelamento topográfico e batimétrico (no caso de rios caudalosos).
- Relatório detalhado com fotografias em formato que permita alimentar os módulos de inspeção do sistema de gestão de pontes.

- Classificação do nível de conservação por elemento e para a ponte no global (ver resultados de inspecção).
- Avaliação de necessidades de manutenção e reparação, bem como o mapeamento detalhado das anomalias detectadas.

A Inspeção pode interferir com a normal circulação do tráfego, pelo que o seu planeamento deve ser coordenado com o pessoal afecto localmente à gestão da via em que a ponte se insere, a fim de adequar as medidas necessárias a assegurar a segurança do tráfego e dos inspectores. Além disso, poderá mesmo ser interrompida a circulação na ponte ou em parte dela caso seja necessária a utilização de veículos de gaiola basculante.

## **ii. Inspeção de Referência (Garantia ou de Inventário)**

A inspeção de referência deve ser realizada após a conclusão da construção de pontes novas, após a reabilitação de pontes já existentes e aquando da inserção de pontes na base de dados do sistema de gestão (Inventariação). A Inspeção de Garantia deve ser realizada próximo do fim do período de garantia de construção. Estas inspecções servem de referência às inspecções a realizar posteriormente, devendo esta conter:

- Registo de recepção provisória (quer se trate de uma ponte nova ou de uma reabilitação).
- Telas finais da ponte. Estas deverão ser realizadas até 31 dias após a recepção provisória.
- Ensaios à pintura dos elementos principais, nomeadamente da sua textura, espessura, documentação técnica, etc.
- Registo fotográfico.
- Resultado de ensaios de carga.
- Identificações de anomalias que não se verificavam aquando da concepção e construção, nomeadamente, erosão de taludes, infra-escavação de fundações, etc.

Mesmo em pontes em que existam elementos de suporte devem ser feitas algumas verificações pois nem sempre se executou a obra de acordo com o projectado. Isto ocorre normalmente em pontes mais antigas. Deve ser dada uma atenção especial às

possíveis alterações de solicitação de cargas permanentes. Isto poderá ocorrer por aumento da espessura de camadas de balastro ou novos equipamentos.

### **iii. Inspeção detalhada Especial / Estrutural**

A inspeção detalhada especial / estrutural é utilizada quando surgem anomalias graves na ponte ou em pontes similares, desastres naturais (sismos, cheias, etc.), incêndios ou derrame de substâncias perigosas na ponte. São inspeções normalmente mais detalhadas em determinados elementos ou zonas da ponte, particularmente nos elementos da estrutura. Pressupõe a execução de uma avaliação de capacidade de carga.

### **iv. Equipa e equipamentos afectos às inspeções detalhadas**

#### ***Equipa de Inspeção***

Inspeções chefiadas por um especialista do departamento de gestão de pontes, com experiência no dimensionamento, manutenção e reabilitação de pontes. Os elementos que realizam estas inspeções são normalmente:

- Inspeções de referência / inventário e detalhadas de pontes correntes - inspectores juniores e inspectores, auxiliados por técnicos auxiliares
- Inspeções detalhadas de pontes complexas e inspeções especiais – dirigidas por inspectores seniores com auxílio de inspectores e técnicos auxiliares.

#### ***Equipamento***

Além do equipamento já referido para as inspeções correntes, deverá também incluir:

- Equipamento de acesso a locais menos correntes: veículo de inspeção com gaiola basculante, andaimes deslizantes, escadas, etc.



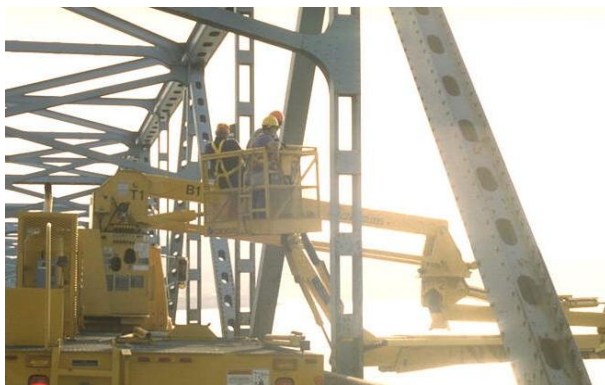


Figura 5-10 – Inspeção com veículo de gaiola basculante

- Instrumentos para realização de Ensaios não destrutivos (nas Inspeções detalhadas especiais).

- . Ensaios ultra-sónicos de medição de fissuras e de espessura de chapas
- . Ensaios magnéticos, ensaios com tinta penetrante para detecção de fissuras
- . Ensaios Radiográficos, ensaios químicos



Figura 5-11 – Ensaios ultra-sónicos

(Fonte: Bridge Inspector's Reference Manual, 2006)



Figura 5-12 – Ensaios com tinta penetrante

(Fonte: Bridge Inspector's Reference Manual, 2006)

#### **v. Resultados de Inspeções detalhadas periódicas**

- Preenchimento de ficha de inspeção em formato uniformizado, com classificação normalizada do nível de conservação da ponte e dos seus elementos.
- Registo fotográfico com registo do elemento a que se refere.
- Referência no relatório de inspeção de lista de pontos a observar em futuras inspeções ou vigilância contínua.

- Introdução de relatório de inspecção (Ficha e registo fotográfico) no sistema de Gestão de Pontes.
- Recolha de elementos que permitirão construir cenários futuros de decisão a tomar relativamente à manutenção ou reparação a médio prazo.

#### 5.2.2.4. Inspeções Subaquáticas

As inspeções subaquáticas podem dividir-se em dois tipos:

- Inspeções de rotina, realizadas nas estações secas (nível da água está mais baixo), permitindo fazer uma avaliação das fundações sem necessidade de equipamento de mergulho especial.
- Inspeções subaquáticas - devem ser realizadas de 5 em 5 anos, procurando fazê-las coincidir com as inspeções detalhadas. Porém, sempre que se verificarem condições climáticas adversas, alterações do leito do rio (naturais ou por intervenção humana), construções de barragens a montante, obras na zona de influência da ponte ou situações imprevistas (danos estruturais, infra-escavação, erosão, gelo, impacto de navio, etc.) este intervalo deve ser encurtado (Cruz, Paulo 2006).



Figura 5-13 – Inspeções subaquáticas em estações secas

(Fonte: Bridge Inspector's Reference Manual, 2006)

**Equipa e equipamento:** Acompanhamento à superfície por um inspetor sénior, que analisa as imagens transmitidas pelo mergulhador supervisor e que pode comunicar com este por áudio, devendo anexar-se ao relatório da inspecção o registo dessas comunicações e das imagens.

A actividade de mergulho deve ser realizada por equipas de mergulhadores profissionais, supervisionadas por um mergulhador de 1ª classe ou por um

mergulhador-chefe, este último sem limitação de profundidade (Cruz, Paulo J. S. 2006). Os mergulhadores que desempenhem as funções de supervisores deverão possuir experiência de mergulho em águas de corrente e turvação intensas, bem como conhecimentos sobre fundações de pontes, comprovados pela aprovação no exame de técnico auxiliar ou de nível superior.

### **Resultados**

- Preenchimento de elementos da ficha de inspecção em formato uniformizado, relativamente a fundações.
- Registo do nível médio da água aquando da inspecção.
- Registo em vídeo e fotografia das fundações submersas.

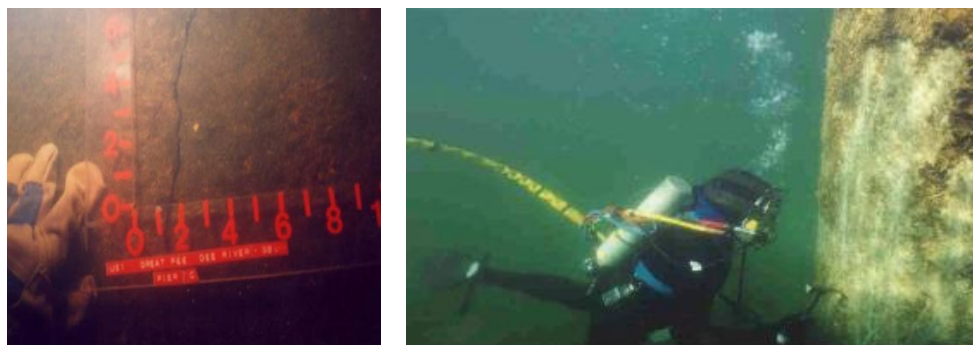


Figura 5-14 - Inspeções subaquáticas

Em zonas de aluvião deve ser dada uma maior atenção a este tipo de inspeções.

#### **5.2.2.5. Vigilância Reforçada**

Estas inspeções são especiais e servem para detectar o aparecimento ou acompanhar a evolução de uma situação perigosa que surja por factores extraordinários (condições climáticas adversas e outras) ou em pontes que contenham características especiais. É o caso de pontes antigas, pontes sujeitas a tráfego intenso e de grandes cargas ou pontes que apresentem um esquema estrutural especial, tal como é o caso de pontes com elementos muito sujeitos a roturas (por exemplo por fadiga dos elementos).

Ocorrem também em pontes com elementos para os quais a sua rotura é muito grave, como é o caso de pontes com cavilhas e elementos metálicos traccionados. A AASHTO prevê mesmo para este tipo de elementos inspeções especiais.

Devem ser realizadas por inspectores seniores já que normalmente exigem algum grau de complexidade na análise.

### 5.2.3. MONITORIZAÇÃO DE PONTES

A monitorização permanente tem vindo a assumir uma importância crescente nos últimos anos, fruto do desenvolvimento que se tem assistido nos instrumentos de monitorização. É cada vez mais frequente, os gestores viários utilizarem a monitorização como ferramenta de apoio à gestão das pontes, reduzindo riscos de rotura e custos de inspecção.

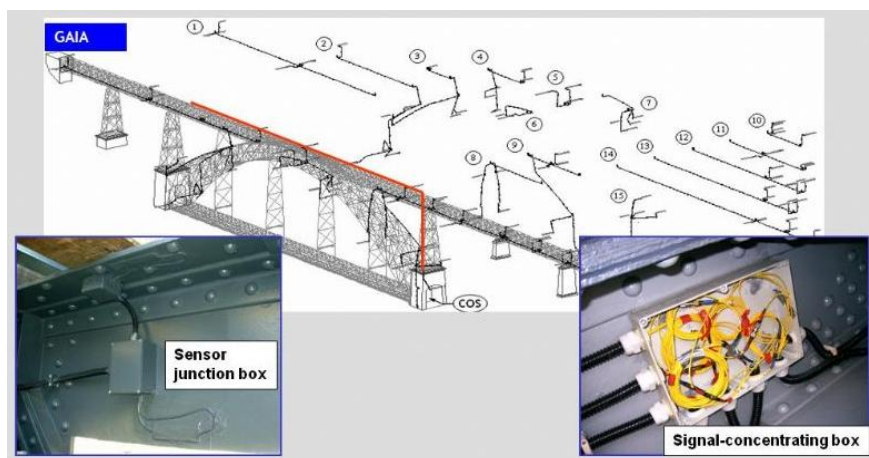


Figura 5-1: Ponte Luiz I - Primeiro sistema de monitorização por fibra óptica instalado em Portugal

(Fonte: LABEST/FEUP e Fibersensing)

Em geral, a manifestação de um mau funcionamento torna-se visível vários anos após se terem desencadeado os mecanismos que o produziram, pelo que será vantajoso a incorporação de sensores que permitam detectar instantaneamente qualquer desenvolvimento de uma anomalia. Além da redução de risco, a detecção atempada permite actuar em fases em que o custo de reparação é mais baixo (início da deterioração).

Na concepção de um sistema de monitorização deverá haver a preocupação de satisfazer, entre outros, os seguintes requisitos (Cruz, Paulo, J. S. 2006):

- A máxima compatibilidade dos diferentes sensores e sistemas de aquisição utilizados;
- Longevidade dos sensores e equipamentos propostos

- Qualidade, robustez e fiabilidade do sistema
- Máximo rigor e precisão dos resultados
- Simplicidade de instalação e de utilização do sistema.



Figura 5-15 – Sensores de deformação no arco da Ponte Luiz I (Costa, B., Félix, C., Figueiras, J. 2006)

Com um sistema de monitorização conseguir-se-á:

- Redução de risco de rotura imprevista;
- Maior fiabilidade na construção de modelos de deterioração;
- Medidas de conservação mais rápidas e económicas, já que a percepção da formação da patologia surge mais cedo, o que permite reparações mais económicas;
- Reduzir custos das actividades de inspecção, podendo espaçar mais as inspecções ou eliminar nalguns casos a vigilância contínua visual;
- Aferir a eficácia das operações de reparação e avaliar a necessidade de inspecções ou ensaios adicionais (Cruz, Paulo, J. S. 2006).

### 5.3. TABELAS DE RELAÇÃO CAUSA-EFEITO – SUPORTE À INSPECÇÃO E AVALIAÇÃO

As tabelas de relação causa-efeito têm um papel importante no suporte à inspecção e na definição de acções de manutenção ou reparação a tomar para cada patologia (anomalia). Estas tabelas devem estar organizadas por elementos, indicando o que caracteriza cada nível de avaliação de uma anomalia e quais as causas que lhe estão origem.

A elaboração das tabelas deve ser precedida pela divisão em elementos das pontes e pela realização de um estudo aprofundado das principais anomalias.

A identificação da correlação existente entre as causas e a anomalia permite:

- Realizar avaliações do nível de conservação dos elementos e da ponte mais precisas.
- Adoptar medidas de conservação eficazes, já que irão preferencialmente incidir nas causas da anomalia.
- Recolha e aperfeiçoamento de pormenores construtivos a desenvolver em futuros projectos.

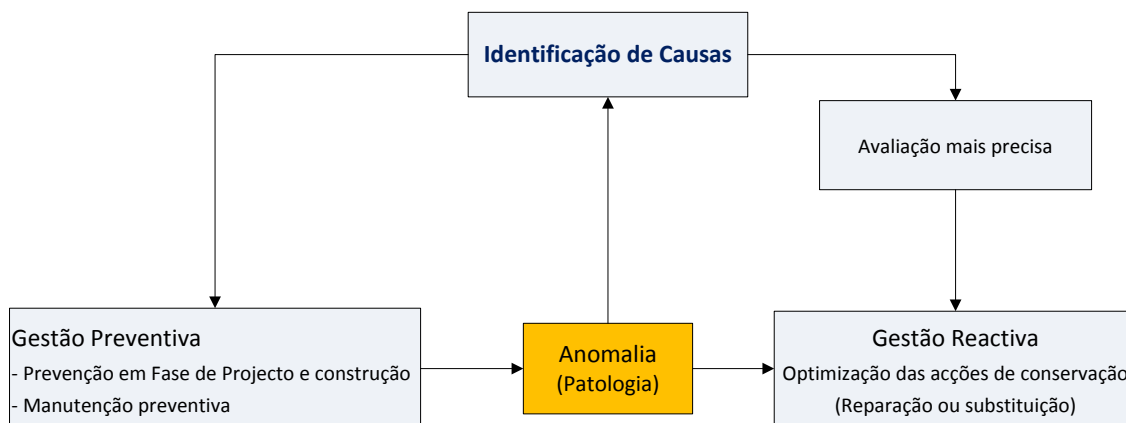


Figura 5-16 – Relação causa-efeito – Auxílio na gestão da conservação

Nas tabelas seguintes mostra-se um exemplo de relação causa-efeito para elementos metálicos, em que se identificam as causas principais para cada tipo de anomalia susceptível de aparecer nestes elementos, como avaliá-lo e quais as opções de conservação possíveis para cada nível de conservação. A melhor acção de conservação deverá sair deste conjunto de acções, tendo ainda que ser feita uma análise custo-benefício para distinguir entre as acções possíveis. O método de análise e tomada de decisão vai ser desenvolvido no próximo capítulo.



Anomalia	Causas	
	Categoria	Descrição
<b>Corrosão</b>	Erros de Projecto e Construção	Ranhuras, cantos vivos, que contribuem para o desgaste da pintura de protecção
		Pontos de retenção de água (perfis em U sem orifícios de escoamento de água)
		Materiais em contacto de origem diferente (aço, betão, alvenaria)
		Secções rebitadas com múltiplas peças ligadas por rebites
		Sistema de protecção (pintura) mal definido para o local (exposição ambiental)
	Qualidade do Material	Ligações mal concebidas, com excentricidades e tensões residuais
		Espessuras de chapas reduzidas.
	Degradação microbiana	Heterogeneidade do material
		Tratamentos térmicos, mecânicos e de superfície no fabrico do material mal executados
	Meio envolvente	Vegetação e excrementos de animais
Derrame de matérias perigosas transportadas (ex. fertilizantes)		
Acumulação de detritos por falta de limpeza		
Outros	Período de exposição da superfície à humidade	
	Poluição atmosférica	
Outros	Ambiente marítimo	
	Temperatura	
	Obstrução de Sistema de Drenagem	
<b>Fadiga</b>	Erros de Projecto e Construção	Falta de manutenção
		Corrente eléctrica
		Frequência de circulação e cargas por eixo superior ao previsto
		Pormenorização deficiente
		Espessuras de chapa reduzidas
		Ligações fracas entre elementos principais e secundários
		Ligações rígidas (muitas vezes provocada por corrosão)
		Variações bruscas de secção, descontinuidades na geometria de peças
		Ligações soldadas (efeito de concentração de tensões)
	Excentricidades de ligações e elementos, deslocamentos (esforços secundários)	
Rugosidade da superfície (provoca concentração de tensões)		
Corrosão	Processo de rebitagem deficiente (má execução do furo)	
	Má qualidade da soldadura	
<b>Distorção</b>	Impacto	Ambientes corrosivos aumentam a velocidade de propagação da fissura
	Acções	Amaciamento, endurecimento da superfície
	Influência de outros elementos	Impacto de veículos
	Corrosão	Acções mais elevadas do que os que estavam previstos
	Outros	Esforços devidos a extensões térmicas restringidas por defeitos em aparelhos de apoio
Outros	Redistribuição de esforços devido a plastificação ou cedência de elementos adjacentes	
	Deterioração do elemento	
Outros	Fogo	

Tabela 5-2 – Tabelas de relação causa-efeito – Fadiga e distorção de elementos metálicos

ANOMALIAS EM ELEMENTOS METÁLICOS			
Anomalia	Nível de Conservação	Descrição	Ações de conservação possíveis
Corrosão	1 Sem Corrosão	Não existem sinais de corrosão e a pintura de protecção está em bom estado, protegendo os elementos conforme previsto.	- Nada fazer
	2 Deterioração da Pintura	Pequenos sinais de corrosão, com início de formação de pequenos pontos de ferrugem. A pintura começa a escamar, descascar, mas ainda não existe exposição do metal.	- Nada fazer - Jacto de vácuo, limpeza e Pintura - Substituir pintura de protecção
	3 Formação de ferrugem	Manchas de ferrugem são frequentes. Partes do elemento metálico encontram-se expostas mas ainda não existe corrosão activa a provocar perda de secção.	- Nada fazer - Jacto de vácuo, limpeza e Pintura - Substituir pintura de protecção
	4 Corrosão activa	Presença de corrosão e alguma perda de secção devido a corrosão activa. No entanto, ainda não afecta a utilização do elemento ou da ponte.	- Nada fazer - Jacto de vácuo, limpeza e Pintura - Substituir pintura de protecção
	5 Perda de Secção	Corrosão provocou perda de secção e justifica a análise estrutural de reabilitação para aferir o impacto na resistência última e a funcionalidade do elemento ou da ponte	- Rabilitar elemento - Substituir elemento
Fissuração por Fadiga	1 Propensão para fadiga	Fissuras por fadiga estão reparadas. Porém ainda existe risco de fadiga.	- Nada fazer - Maquinagem ou afagamento - Furo para baixar tensões e reter fissura
	2 Fissura por fadiga	Fissuras por fadiga estão a desenvolver-se.	- Martelagem, granalhagem ou decapagem - Furo para baixar tensões e reter fissura - Revestimentos (pintura, epoxy, metal)
	3 Muitas fissuras por fadiga	As fissuras por fadiga requerem uma avaliação estrutural dos elementos ou da ponte. - Extensão acentuada da fissura.	- Reforço com chapa sobreposta - Substituir elemento
Distorção	1 Pequena distorção	Distorção de parte do elemento (banzo, alma)	- Nada fazer - Reparar elementos e endireitar
	2 Por reparar	Distorção de elemento. Torção em desenvolvimento	- Reparar elementos e endireitar
	3 Em análise	Distorção elevada. Possível evolução para rotura.	- Reforço de elemento - Substituição de elemento
Perda de secção	1 Reparado	Descamação de pintura e descasque do elemento. Quase não visível a olho nu.	- Nada fazer - Reparar elementos e pintar
	2 Por reparar	Perda de secção em desenvolvimento. Descasque a acentuar	Reparar elementos e pintar
	3 Em análise	Perda de Secção visível e mensurável. Elemento deverá ser verificado (avaliação estrutural).	- Reparar e pintar - Reforço de elemento
	4 Perda de secção	A redução de secção afecta a capacidade de carga ou utilização da ponte. Pré-rotura	- Reforço de elemento - Substituir elemento

Tabela 5-3 - Tabelas de relação causa-efeito – Anomalia / Avaliação / Acção de conservação



Estas tabelas devem ser acompanhadas por fotografias de auxílio à inspeção, que procurem descrever o nível de conservação em que o elemento se encontra.



Nível de conservação 1



Nível de conservação 2



Nível de conservação 3



Nível de conservação 4



Nível de conservação 5

Figura 5-17 - Fotografias de apoio para avaliação de elemento metálico à corrosão

(Fonte: Pontis Bridge Inspection Manual - 2007)



Nível de conservação 1



Nível de conservação 3



Nível de conservação 3

Figura 5-18 – Fotografias de apoio para avaliação de elemento metálico à fissuração por fadiga

(Fonte: Pontis Bridge Inspection Manual - 2007)

## **5.4. CONSEQUÊNCIAS IMEDIATAS DA INSPECÇÃO**

O inspector deverá indicar no final da inspecção, a estratégia de actuação a tomar em função da apreciação da obra de arte (Manual de Inspeção Principal, EP). Todas as anomalias detectadas durante a inspecção que ponham em causa a segurança de utilização da ponte deverão dar origem a procedimentos de segurança imediatos, tais como:

- a) Notificação às entidades públicas ou a limitação de circulação (velocidade e carga).
- b) Implementação de medidas correctivas e monitorização.
- c) Realização de uma inspecção especial à ponte e, caso se justifique em pontes com pormenores estruturais semelhantes.
- d) Definir se é necessário efectuar estudos complementares (técnicos e/ou económicos).

## **5.5. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO**

### **5.5.1. INTRODUÇÃO**

O aumento do número de infra-estruturas nos países desenvolvidos e nos países em desenvolvimento tem levado a uma maior necessidade de competências na sua gestão, só possível com a utilização de sistemas informáticos. Esta gestão “baseada na informação” obriga a que se coloque um nível de confiança muito elevado nos dados recolhidos, o que obriga à normalização de processos. No caso da Inspeção, a normalização facilita a formação dos inspectores e possibilita a construção de base de dados uniformes, o que facilita a transferência de informação no desenvolvimento de modelos de deterioração.

A definição clara dos critérios de avaliação é essencial para que se aproveite toda a informação recolhida de uma inspecção. A uniformização desses critérios garante ainda:

- Uniformidade de avaliação, retirando a subjectividade na avaliação.
- Facilidade e eficiência na formação de inspectores.

- Construção de um histórico na evolução do estado de deterioração das pontes que permitirá refinar e desenvolver modelos de deterioração com maior fiabilidade.
- Estabelecer comparações entre estado de conservação de pontes e definição de “rankings” que permitam ordenar as pontes por nível de avaliação.

Deve procurar-se desenvolver um sistema uniformizado a nível europeu na avaliação de pontes. Não faz sentido falar de redes transeuropeias de alta velocidade, avaliando o estado de uma ponte de maneira diferente, consoante o país em que se está.

### 5.5.2. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO PROPOSTOS

Um sistema de avaliação deve ser o mais rigoroso possível, não sendo contudo demasiado complexo na sua utilização. O sistema deve procurar atingir os seguintes objectivos:

- Definir o número de elementos, permitindo dividi-los pelos seguintes pontos:
  - Função que desempenham na ponte (por exemplo, separar uma junta de dilatação do tabuleiro);
  - Tipo de manutenção específica (caso exista);
  - Unidade de medida (permite a estimativa de custos das acções a realizar);
  - Tipo de anomalia que possa apresentar (corrosão, fissuração, etc.)

A existência de apenas 4 grandes componentes de uma ponte nas normas americanas (NBI) não lhes permite identificar estratégias de reparação específicas e obriga a avaliações muito generalizadas, com a consequente subjectividade. Os elementos a definir devem seguir uma normalização estabelecida semelhante à do manual da AASHTO, “Core Element Manual”.

- Descrever as anomalias presentes num mesmo elemento e sua extensão nos diversos níveis de avaliação, possibilitando assim classificar mais detalhadamente o elemento e permitindo uma estimativa de custos mais rigorosa. Veja-se o caso de existir um pilar em mau estado e os restantes em excelente estado. A avaliação não daria ênfase a esse pilar deteriorado num

sistema de avaliação generalista. A existência de um só elemento com deterioração deve ser suficiente para definir a sua reparação pontual, já que algo de invulgar poderá ter acontecido.

- Valorizar os elementos pela sua importância relativa para a estrutura e pelos efeitos secundários que a sua deterioração terá nos outros elementos.
- A inspecção deve restringir-se à recolha de dados e sua análise. A tomada de decisão é um processo posterior que deve ser cuidadosamente avaliado.
- Calcular um índice ponderado (e não isolado) do estado global da ponte que permita uma comparação com as restantes pontes ao nível geral da rede viária e a definição de políticas de conservação sustentadas.

São estas ideias gerais que os sistemas de gestão de pontes têm procurado seguir, sendo um bom exemplo o projecto desenvolvido com o sistema *Pontis* pelo Departamento de Transportes da Califórnia (CALTRANS).

#### **5.5.2.1. Avaliação dos elementos da ponte**

O sistema de avaliação deve ser feito elemento a elemento, aplicando os níveis de avaliação propostos na Tabela 5-4, definindo a extensão de elemento por cada nível de avaliação e tendo em conta o tipo de anomalia que está a ser avaliada, já que o elemento pode estar sujeito a mais que um tipo de anomalia. O número de níveis de avaliação é de 1 a 5, não devendo ser mais, já que o objectivo é maximizar a fiabilidade da observação e retirar subjectividade.

Os índices são aqui apresentados de forma genérica mas deverão ter uma descrição pormenorizada para cada elemento (vigas, pilares, ligações) e cada anomalia, facilitando e uniformizando o trabalho de Inspecção, tal como foi demonstrado no ponto 5.3, com as tabelas de causa-efeito.

NÍVEL DE AVALIAÇÃO	ESTADO DO ELEMENTO	DESCRIÇÃO	GRANDEZAS INTERVENIENTES NA AVALIAÇÃO	AÇÃO A PROPOR APÓS INSPECÇÃO
1	Protegido	O elemento ou o sistema que o protege (ex. pintura) está em bom estado e funciona dentro do previsto.	- Estado do elemento e do tipo de protecção. (1+0+0)	Limpezas caso estejam presentes focos de contaminação (água acumulada, detritos)
2	Exposto	O elemento ou o sistema que o protege falhou parcialmente ou completamente, deixando o elemento vulnerável à deterioração.	- Estado do elemento e do sistema de protecção. (2+0+0)	- Limpezas de focos de contaminação - Registo no sistema para futuras comparações da obra - Inspeções de rotina devem incluir avaliação detalhada deste elemento. - Meios de monitorização permanentes devem ser equacionados.
3	Atacado	O elemento foi atacado, apresentando algumas anomalias mas ainda não está danificado.	- Estado do elemento. (3+0+0).	- Inspeção detalhada imediata, vigilância permanente. - Eventuais restrições de circulação.
4	Danificado	O elemento está danificado e perdeu uma parte importante do material que o compõe. A funcionalidade do elemento pode estar perdida, podendo implicar restrições à circulação.	- Estado do elemento. - Efeito na funcionalidade do elemento. (3+1+0)	- Inspeção detalhada imediata, vigilância permanente. - Eventuais restrições de circulação.
5	Pré-ruína	Elemento completamente degradado e tem que ser reparado imediatamente. Segurança pode estar posta em causa.	- Estado do elemento - Efeito na funcionalidade - Urgência da Reparação (3+1+1)	Trabalhos de reparação imediatos.

Tabela 5-4 – Proposta de níveis de avaliação da conservação ao nível dos elementos da ponte

A descrição dos níveis segue a sequência de deterioração normal num elemento, começando no nível protegido, passando pela fase em que está em deterioração (atacado) e terminando na falha do elemento para as funções a que se destina (pré-ruína).

A deterioração do elemento (ou de determinada extensão de elemento) no que toca às suas funções estruturais e físicas é o principal factor de avaliação. No entanto, a partir de um determinado nível, a deterioração começará a afectar também a funcionalidade a que o elemento se destina, sendo também importante avaliar a urgência de actuação sobre a anomalia. A quantificação destas grandezas pode definir-se da seguinte forma:

$$I_{\text{Estado elemento}} = I_{\text{Patologia}} (0 \text{ a } 3) + I_{\text{Funcionalidade}} (0 \text{ a } 1) + I_{\text{Urgência de actuação}} (0 \text{ a } 1) \quad (\text{Eq. 5.1})$$

A adopção do nível 5 (a fase mais degradada) implica a sinalização, para quem gere o sistema, de que deverá ser necessário intervir imediatamente naquele elemento ou em parte deste, mesmo que o nível de condição global da ponte, ponto a ser desenvolvido mais à frente, indique um estado global aceitável.

A funcionalidade do elemento só surge num nível mais avançado (nível 5) já que para a maioria das pontes a deterioração dos seus elementos não afecta logo o nível de serviço no curto prazo. No entanto, numa análise da ponte na globalidade e a longo prazo, o nível de serviço prestado e os custos para os utilizadores são determinantes.

Este tipo de sistema de avaliação dos elementos é de grande utilidade já que:

- i. Ao definir o estado de gravidade e tipo de anomalia em que o elemento se encontra, consegue-se seleccionar, através de tabelas de relação causa-efeito, a acção de manutenção ou reparação mais fiável.
- ii. Ao valorizar todo o elemento por extensão de gravidade de cada nível de avaliação, consegue-se obter importantes estimativas de custos de manutenção ou reparação.
- iii. A definição de níveis de avaliação adaptados a cada elemento permite acompanhar a evolução do elemento bem como o efeito das medidas de manutenção, construindo um histórico de deterioração.

#### **5.5.2.2. Avaliação da Ponte**

Como vimos atrás, o sistema de avaliação ao nível dos elementos possibilita a definição de acções de manutenção e reparação adequadas a cada elemento. Existem no entanto outras necessidades de informação para uma entidade que gere uma ponte ou um conjunto de pontes.

É importante criar uma medida de avaliação do nível global da ponte, que tenha em conta o estado de conservação dos elementos que a compõem, atendendo à importância relativa de cada elemento.

Perante a necessidade de definir estratégias de conservação ao nível da rede viária, que tenham em conta medidas como trabalhos de reparação importantes, melhoramento da capacidade de carga (na rede viária e nas suas pontes), restrições de

circulação ou mesmo a substituição de pontes, torna-se necessário possuir um indicador que meça o nível de conservação global das pontes e que permita a comparação entre pontes inseridas no mesmo sistema viário.

A tabela seguinte apresenta as fórmulas de avaliação do estado de conservação de pontes utilizadas por alguns dos sistemas de gestão de pontes já apresentados no capítulo 2. A apresentação comparativa destes sistemas deve-se ao facto de se considerar que representam uma grande variedade de formas de avaliação, englobando aspectos relacionados com a funcionalidade e estabilidade estrutural.

Sistema	Fórmula	Parâmetros
Finlândia	$RI = \text{Max}_i (EC_i \times DCL_i \times UCL_i) + \gamma \left[ \sum_{j, j \neq \text{max}} (EC_j \times DCL_j \times UCL_j) \right]$	EC - avaliação estrutural de cada um dos componentes da ponte DCL - classe de deficiências UCL - Urgência de reparação Separa a deficiência mais gravosa das outras (factor de redução $\gamma$ )
Califórnia (CALTRANS)	$HI = \frac{\sum_{e=1}^n C_{ef} \cdot \sum_{i=1}^{N_e} Q_{ei} \cdot \left(1 - \frac{i-1}{N_e-1}\right)}{\sum_{e=1}^n C_{ef} \cdot \sum_{i=1}^{N_e} Q_{ei}} \times 100$	HI - Health Index $C_{ef}$ - Custo de rotura do elemento e $Q_{ei}$ - quantidade do elemento e no nível de avaliação $i$ $N_e$ - número de níveis de avaliação no elemento e (normalmente 5)
NBI E.U.A	$FSR = S1 + S2 + S3 - S4$ 100% - Ponte em ótimas condições 0 - 50 % - Susceptível de reabilitação ou substituição 50 - 80% - Reabilitação	FSR - Federal Sufficiency rating S1 - Estado da Segurança (0 a 55%) S2 - Nível de Serviço e funcionalidade (0 a 30%) S3 - Importância para o uso público (0 a 15%) S4 - factores especiais de redução
Pensilvânia E.U.A	$TDR = \Phi \cdot [LCD + WD + VCOD + VCUD + BCD + RLD + AAD + WAD]$	TDR - Indicador de eficiência global $\Phi$ - classificação da via rodoviária LCD - Capacidade de carga WD - Largura livre do tabuleiro VCOD - Gabarit livre sobre a obra de arte VCUD - Gabarit livre sob a obra de arte BCD - Estado Geral da Ponte RLD - Vida útil residual AAD - Alinhamento de acessos WAD - Inadequação do Curso de Água
Surrey County Reino Unido	$MPN = \frac{CF \times LF \times RF}{14}$	MPN - Número de prioridade de manutenção CF - factor em função do nível de avaliação LF - factor de importância do elemento RF - factor de importância da rede viária

Tabela 5-5 – Fórmulas de avaliação do estado de conservação de pontes

Nos sistemas norte-americanos (FHWA e Estado da Pensilvânia), é de destacar a preocupação relativa à funcionalidade e nível de serviço da ponte.

O sistema do Reino Unido constrói um nível de avaliação da ponte baseado na função e importância de cada elemento e da importância da rede viária em que a ponte se insere.

Sistemas mais recentes como o da Finlândia e da Califórnia evoluíram para uma análise que admite que a avaliação da ponte deve ter uma componente mais detalhada no que se refere à análise dos seus elementos e do seu estado de conservação.

Estes dois sistemas retiram da avaliação aspectos relacionados com a funcionalidade, importância da ponte e nível de serviço. Isto faz sentido já que, à partida, a funcionalidade e nível de serviço não mudam muito ao longo da vida útil dos elementos. Ao incidir a análise no estado de conservação dos elementos, privilegia a informação recolhida nas inspecções e interliga o sistema, adaptando-o, para a realização sistemática de avaliações económicas das acções a realizar (reabilitação, substituição, melhor altura para intervir, etc.).

O sistema finlandês atribui porém um peso diferente ao elemento mais degradado. Não especifica porém que elemento é este, correndo-se o risco de atribuir importância acrescida a um elemento não crítico.

Por estas razões, propõe-se que a fórmula a adoptar para avaliação do nível de conservação da ponte seja a utilizada pelo Departamento de Transportes da Califórnia, denominado *Health Index* (índice de performance da ponte).

$$HI = \frac{\sum_{e=1}^n C_{ef} \cdot \sum_{i=1}^{N_e} Q_{ei} \cdot \left(1 - \frac{i-1}{N_e-1}\right)}{\sum_{e=1}^n C_{ef} \cdot \sum_{i=1}^{N_e} Q_{ei}} \times 100 \quad (\text{Eq. 5.2})$$

Em que:

HI – Índice de Performance (*Health index*)

$C_{ef}$  – Custo de rotura do elemento e

$Q_{ei}$  – quantidade do elemento e no nível de avaliação i

$N_e$  – número de níveis de avaliação no elemento (normalmente 5)

Neste sistema de avaliação, a atribuição de pesos ponderados aos diferentes elementos é realizada através das consequências económicas que derivam da rotura



de cada elemento, traduzidos pelos custos de rotura. Nestes custos de rotura consegue-se traduzir a importância de cada elemento e, indirectamente, a importância da rede viária já que nestes custos de rotura estão incluídos custos para o utilizador associados a estudos de tráfego e custos para a sociedade.

Os pesos relativos de cada elemento derivam do maior ou menor efeito que a sua rotura terá na estabilidade global da estrutura. Elementos como guardas, a via ou passeios, têm um grande peso na qualidade e nível de serviço, mas não têm normalmente nenhum efeito na estabilidade global da ponte, ao contrário de elementos como por exemplo, pilares ou longarinas de uma viga em treliça, cuja rotura implicaria provavelmente o colapso de toda a ponte.

#### **i. Cálculo dos custos de rotura para o Índice de Performance**

Como foi visto no ponto 3.4.2.6., estes custos procuram reflectir as consequências da rotura de uma ponte, sendo compostos por:

$$C_{\text{rotura}} = C_{\text{Substituição da ponte}} + C_{\text{Perda de vidas humanas e bens materiais}} + C_{\text{Impacto social / ambiental}} \quad (\text{Eq. 5.3})$$

Através destes custos, conseguem-se introduzir na análise grandezas importantes para a avaliação da ponte, tais como a importância da via em que esta se insere (custos de perda de vidas humanas e de materiais e custos de uma componente relacionada com a interrupção de serviço na ponte nos custos de substituição), a idade da ponte e o ambiente que a rodeia (pela probabilidade de rotura dos elementos) e a importância para a sociedade (importância histórica ou cultural).

A definição destes custos é de extrema importância já que, caso um elemento esteja numa situação de rotura iminente (à partida um estado pior do que qualquer um que os previstos para a avaliação dos elementos), o seu valor deverá reflectir a necessidade de intervir nesse elemento sob pena de se incorrer num custo superior.

Antes de o elemento atingir essa rotura iminente, esta deverá ser prevista antecipadamente pela classificação desse elemento com o nível 5, que funcionará como um sinal de alerta e um factor penalizador muito grande no nível de avaliação da ponte, principalmente se for num dos principais elementos como o são os pilares e as vigas.

**ii. Pesos relativos de cada elemento na avaliação da ponte**

Os custos de rotura devem reflectir a importância relativa de cada elemento na estabilidade e funcionalidade da ponte e o efeito que um dano num dos elementos trará para a ponte.

Uma das formas possíveis de distribuição dos custos de rotura pode ser utilizando a importância estrutural que cada elemento tem na ponte, através da área de influência desse elemento.

Veja-se, por exemplo o caso de uma ponte metálica com dois vãos de 25 metros cada, constituídas por duas vigas treliçadas metálicas por vão (quatro no total), dois encontros e um pilar central. O tabuleiro é realizado com carlingas de 5 metros de vão (largura da ponte), espaçadas de 2,5 metros.

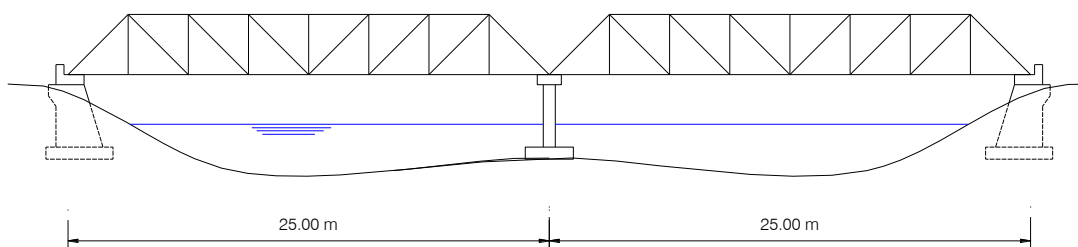


Figura 5-19 – Ponte treliçada metálica – exemplo

A aplicação de uma carga uniformemente distribuída em todo o tabuleiro de 40 kN/m<sup>2</sup> dará as seguintes acções para cada elemento:

Elemento	N.º de elementos	Acções por elemento	Pesos relativos	Cálculo
Carlinga	20	40x2,5x5 = 500 kN / carlinga	10 %	10% = 500 / 2500 x 50%
Vigas treliça	4	2500 kN / viga	40 %	
Pilar	1	5000 kN	25 %	
Encontros	2	2500 kN / encontro	25 %	25% = 2500/5000 x 2 encontros
Total			100 %	

Tabela 5-6 – Exemplo de distribuição de pesos relativos por elementos de uma ponte

O factor multiplicador divide as acções da seguinte forma:

- Superestrutura – 50% (carlingas 10% e vigas 40%)
- Substrutura – 50% (as acções de um encontro são metade das de um pilar)

Relativamente aos elementos não estruturais, há que definir uma ponderação também importante dos elementos preponderantes à conservação. Por exemplo, o sistema de drenagem é de crucial importância na conservação de uma ponte, pelo que o peso que lhe é atribuído deve reflectir isso.

### **5.5.2.3. Avaliação ao nível da rede viária**

O índice de performance preconizado pela CALTRANS (Califórnia) introduz uma noção económica do valor dos activos de especial importância numa análise ao nível da ponte e da totalidade da rede viária em que ela se insere. Ela é essencial na definição de necessidades orçamentais e na definição de estratégias de longo prazo no que concerne, por exemplo ao nível de serviço oferecido aos utentes da via. Através do Indicador de Performance pode facilmente comparar-se o estado das pontes entre si, definir que nível de serviço pretende ter em toda a sua rede viária e que riscos de segurança estrutural pretende assumir para os seus utentes e os seus activos (por exemplo, a Caltrans tem um objectivo de ter apenas 5% das pontes com um HI abaixo de 80%). É neste âmbito que se irá desenvolver os próximos pontos, referindo a forma como podemos utilizar este indicador e que ferramentas se devem construir para se obter uma elevada fiabilidade na sua utilização.

## **5.6. ESTRATÉGIA DE CONSERVAÇÃO - MANUTENÇÃO E REPARAÇÃO**

O principal objectivo das acções de manutenção é assegurar que as infra-estruturas se mantenham em boas condições ao longo da sua vida útil, garantindo que mantém a capacidade de carga, o nível de serviço e a aparência para que foi projectada.

Em qualquer país, os recursos disponíveis para a gestão das pontes são limitados pelo que se deve procurar definir uma estratégia de manutenção eficiente e sustentável, garantindo benefícios a longo prazo.

Em estudos realizados na Alemanha e Holanda, verificou-se que os custos de manutenção reais numa ponte variam entre 1% e 2% do custo inicial da construção, tendendo a aumentar com a vida útil da ponte (Brito, 1992). Em Portugal, as Estradas de Portugal destinaram em 2006, 32% do seu plano de investimento para a conservação (250 milhões de euros), dos quais cerca de 75 milhões de euros para a conservação das obras de arte. Estes valores dão ideia da importância que deverá ser dada à estratégia de manutenção.

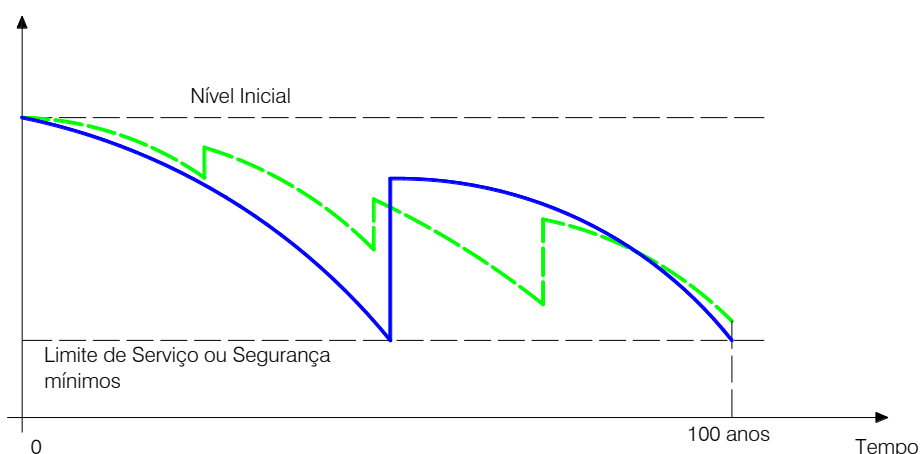


Figura 5-20 – Diferentes Estratégias de Conservação de Pontes

### 5.6.1. TIPOS DE MANUTENÇÃO E REPARAÇÃO

A manutenção e reparação podem dividir-se em acções preventivas (manutenção e pequena reparação) e reactivas (grandes reparações, reforço ou substituição).

#### i. Acções Preventivas

As acções preventivas dividem-se em acções cíclicas (limpezas de vegetação ou lixo, desobstrução do sistema de drenagem, etc.) que acompanham normalmente as inspecções de rotina e as acções pontuais programadas, normalmente mais especializadas (substituição de apoios, juntas de dilatação, repinturas metálicas, etc.).

#### ii. Acções Reactivas

As acções reactivas surgem quando alguma estrutura ou algum elemento não cumpre os requisitos mínimos de segurança ou serviço. Podem dividir-se em:

- Pequenas reparações estruturais – fissuração localizada, manchas superficiais, etc.
- Grandes reparações estruturais – levada a cabo quando a integridade estrutural está ameaçada. Inclui trabalhos de reparação de elementos fissurados de betão, encurvadura e enfunamento de elementos metálicos, etc.
- Reforço ou Substituição de pontes – esta opção é sempre tomada em condições extremas, quando a estrutura não cumpre os requisitos de estruturais para que foi dimensionada ou no caso de se querer aumentar a sua capacidade. São acções muito dispendiosas, normalmente sujeitas a análises custo-benefício muito detalhadas.

A descoberta de qualquer uma das situações que impliquem uma destas reparações implicará em primeiro lugar uma decisão de Avaliação Técnico-Económica, utilizando ferramentas definidas mais à frente. Os custos desta avaliação não devem ser desprezados nas análises de custos a realizar.

### **5.6.2. OPTIMIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO**

A optimização do processo de manutenção implica a definição de uma estratégia que maximize os efeitos da manutenção, cumprindo o orçamento disponível. A qualidade de informação e o suporte prestado pelos técnicos na definição do estado de conservação das pontes é essencial para definir uma prioridade de actuação. Como foi analisado anteriormente, este sistema deve ser o mais rigoroso possível, retirando o máximo de subjectividade da avaliação.

O primeiro passo é a recolha de dados relativos ao estado das pontes de todo o sistema viário que permitam a definição de acções prioritárias a tomar. Os dados a recolher devem incluir:

- Nível de avaliação de cada ponte e seus elementos e urgência de reparação.
- Identificação de pontes com restrições de circulação (velocidade e carga máxima).
- Importância estratégica da ponte (por exemplo, se está inserida num corredor de Protecção Civil), importância histórica (monumento nacional ou outros).
- Volume de tráfego e alternativas de desvios de tráfego para cada ponte, caso seja necessário definir restrições de circulação.

Após a recolha destes elementos deverão surgir decisões de estratégia de manutenção a vários níveis, nomeadamente ao nível global da rede viária e da ponte.

Uma análise ao nível da rede viária procura definir estratégias globais de conservação, utilizando estimativas globais de verbas para reparação ou substituição de pontes, enquanto que ao nível da ponte se espera que os engenheiros que supervisionam o estado da ponte tomem decisões individuais, que optimizem a manutenção da ponte.

#### **5.6.2.1. Estratégia de manutenção ao nível da rede viária**

A estratégia de manutenção de uma rede viária é normalmente uma decisão ao mais alto nível que definirá o orçamento a disponibilizar para esta tarefa. Veja-se o exemplo da Califórnia em que se definiu um objectivo de não ter mais que 5% das pontes com um Índice de Saúde abaixo de 80% (Thompson, Paul, 2000). Importa por isso tomar uma decisão bem fundamentada, apresentando-se normalmente três tipos de estratégia de manutenção:

- Nada fazer até que a ponte atinja um estado próximo do limite de segurança ou funcionalidade, a partir do qual se definirão restrições de circulação ou reforço da ponte. A hipótese de substituição é uma alternativa à reabilitação.
- Nada fazer até se atingir um nível de deterioração de referência no sector, definindo aí trabalhos de reparação.
- Realizar um plano de manutenção preventiva regular que reduza a deterioração da ponte, adiando ao máximo a necessidade de realizar trabalhos de reparação, reforço ou de restrição à circulação.

A decisão da estratégia de conservação a seguir é normalmente baseada em aspectos económicos, se bem que muitas vezes aspectos como a importância estratégica da rede viária (rede inserida num corredor de protecção civil) ou aspectos de natureza cultural ou históricos (por exemplo, pontes que sejam monumentos nacionais ou património mundial) suplantam o aspecto económico da análise devendo estarem inseridos na definição de estratégia de manutenção.

Estratégia	Vantagens	Desvantagens
<b>Nada fazer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adiar necessidade de despesas de manutenção</li> <li>- Evitar antecipação de custos de conservação e restrições de circulação em pontes que ainda não necessitem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custos de reabilitação e interrupção de circulação normalmente muito altos.</li> <li>- A deterioração visível da ponte mesmo que ainda não implique falta de segurança pode afectar a confiança dos utentes.</li> </ul>
<b>Nada fazer até um nível de deterioração de referência</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adiar necessidades de manutenção.</li> <li>- Retardar deterioração, reduzindo probabilidade de ter que reforçar.</li> <li>- Poderão existir pontes que não cheguem a degradar-se até esse nível durante a sua vida útil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custos de reparação e de interrupção de circulação podem ser elevados.</li> <li>- Falta de planeamento pode implicar anos em que se tenha que realizar elevado esforço financeiro (reparação em muitas pontes).</li> <li>- Nível de referência pode ser muito baixo ou desajustado ao local, implicando deterioração visual muito acentuada.</li> </ul>
<b>Manutenção preventiva</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Normalmente são acções mais baratas, sem grande impacto na circulação.</li> <li>- Permitem definir orçamentos regulares anuais</li> <li>- Nível de deterioração é atrasado, adiando necessidade de reparações ou reforços</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Normalmente são realizadas de uma forma generalizada, podendo implicar manutenção de pontes que não o necessitem.</li> </ul>

Tabela 5-7 – Estratégias de Conservação possíveis ao nível da rede viária

A decisão não tem necessariamente de ser só uma, podendo definir-se subconjuntos de pontes em que se actuará de forma diferente. Por exemplo, nalgumas vias pode-se optar por utilizar estratégias de substituição de pontes ao fim de 30, 40 anos de utilização. São casos em que o custo de construção é reduzido e em que a substituição é fácil de realizar.

Em pontes novas faz todo o sentido utilizar-se manutenção preventiva que deverá estar definida desde a fase de projecto. Já em pontes que não foram sujeitas a este tipo de estratégia desde o início, o estado de conservação da ponte ditará qual a melhor estratégia a adoptar.

A optimização do processo de conservação envolve a minimização dos custos totais ao longo de um ciclo de vida (tanto da entidade a quem pertence a via como dos utilizadores), devendo ser definidos requisitos mínimos a cumprir, tais como um nível mínimo de avaliação de uma ponte (por exemplo 70% no Índice de Saúde da Califórnia) e um valor de capacidade de carga de referência, garantindo assim uma baixa probabilidade de rotura. Quanto mais restritivos forem estes requisitos maiores serão os custos de conservação.

Ao nível da rede viária, deve-se procurar otimizar os programas de conservação das pontes, tentando agendar para a mesma altura trabalhos de conservação em pontes adjacentes com trabalhos a realizar na própria via.

#### **5.6.2.2. Estratégia de manutenção ao nível da ponte**

Enquanto a estratégia de conservação é definida ao nível da rede viária, as opções de manutenção ou reparação são tomadas ao nível específico de cada ponte. Estas estão interligadas já que ao definir-se a estratégia está-se também a limitar as técnicas de manutenção em estudo. Por exemplo, ao optar-se por uma estratégia de manutenção preventiva não faz sentido estudar a substituição de elementos de pontes (a não ser que ocorram acidentes).

Ao estudar-se o processo de conservação da ponte e dos seus elementos, deve-se procurar ter em conta todos os custos que resultarão de cada opção de conservação para cada elemento a partir desse momento. Poder-se-á estimar previsões de deterioração para os próximos 10 anos, controlando o seu valor de 5 em 5 anos (intervalo entre inspeções principais). Estas previsões terá em conta apenas a deterioração natural, já que é impossível considerar na previsão desastres naturais ou acidentes.

Para se poder calcular qual a opção ideal a tomar em determinada altura é importante:

1. Determinar o nível de conservação actual de cada elemento da ponte.
2. Prever, em função do nível de conservação como se degradará o elemento e a ponte no futuro.
3. Determinar os custos de cada opção de conservação existente para esse elemento (deverá ser o próprio sistema de informação a apresentar as opções mais correntes, podendo os técnicos proporem outros).
4. Determinar o efeito da opção de conservação tomada, prevendo os custos num horizonte de tempo determinado.

A classificação do nível de conservação pode ser realizada de acordo com o descrito no ponto 5.5.2.



Relativamente à previsão de deterioração dos elementos e aos custos unitários de conservação, vai ser descrito mais exhaustivamente no próximo capítulo uma proposta de método de decisão. De qualquer forma, o exemplo da figura é ilustrativo do processo de optimização.

Começando no ponto 0, da inspecção actual, a cada elemento apresentam-se duas hipóteses de manutenção, das quais uma é sempre a de nada fazer. A cada acção de conservação está naturalmente associado um custo, representando o nível de conservação em cada ponto o efeito da acção de manutenção ou reparação.

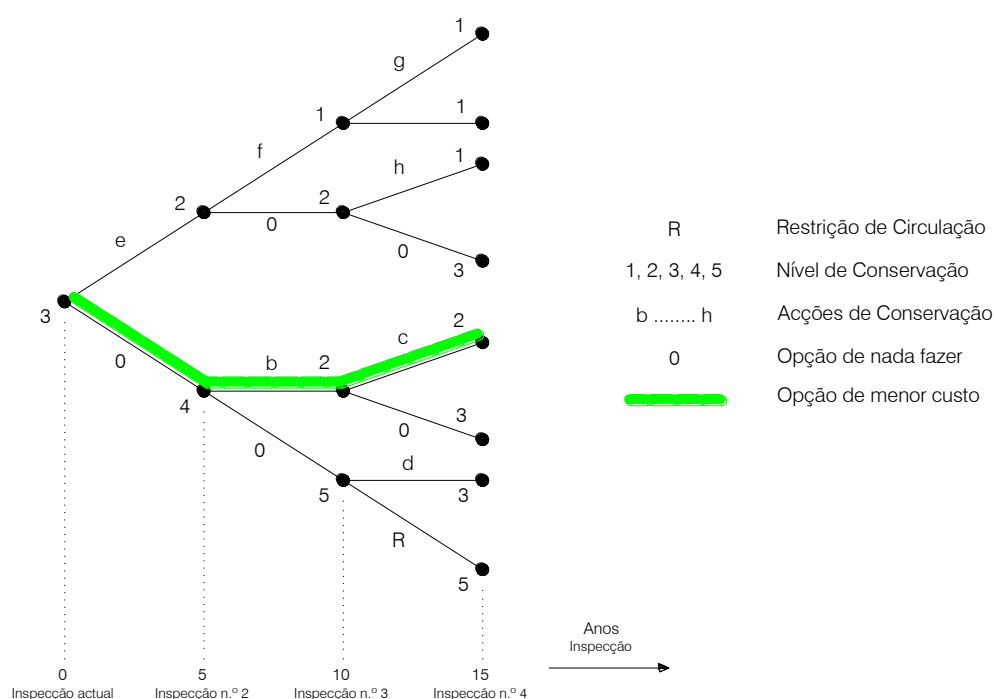


Figura 5-21 – Árvore de Decisão com duas opções de manutenção por nó (fonte: BRIME, 2001)

A passagem de um ponto para o outro é definida por um modelo de deterioração, que procura prever o efeito da acção de conservação no nível de avaliação do elemento. O processo de optimização calcula o custo de cada caminho na árvore de decisão e indica qual a opção com menor custo com valores actualizados (através de uma taxa de desconto).



## 6. APOIO À DECISÃO – ESTUDO DE CENÁRIOS

### 6.1. INTRODUÇÃO

Uma estratégia de conservação deve procurar minimizar os custos conservação de uma infra-estrutura, assegurando que esta se mantém fiável ao longo da sua vida útil. As limitações orçamentais destinadas à conservação obrigam a que se ordenem as pontes por prioridade de actuação e se procurem otimizar acções de conservação, estudando diferentes alternativas.

As decisões de conservação a tomar devem assentar numa análise técnica e económica que procure prever com o maior rigor possível a deterioração esperada da ponte e os custos incorridos para vários cenários de actuação. Normalmente usam-se os seguintes cenários de actuação perante a necessidade de conservação de uma ponte:

- Nada fazer
- Manutenção e reparação corrente
- Reabilitação profunda
- Substituição

A utilização de análises custo - benefício e de custos do ciclo de vida permitem comparar os diferentes cenários, correspondendo o benefício à poupança que se obtém em utilizar um cenário em relação a outro.

O método a seguir descrito baseia-se num estudo de optimização desenvolvido recentemente num programa do NCHRP de 2007, intitulado “*Multi-Objective Optimization for Bridge Management Systems (NCHRP) Report 590*”, estando este sistema já está a ser usado pelo Departamento de Transportes da Florida.

Antes de ser apresentado o modelo de decisão e os fluxogramas de actuação ao nível da rede viária e da ponte, serão descritos os modelos de previsão de deterioração mais utilizados nos sistemas de gestão de pontes mais desenvolvidos nesta matéria.

## **6.2. MODELOS DE PREVISÃO DE DETERIORAÇÃO**

A deterioração de uma ponte consiste no processo de declínio do estado de conservação resultante de fenómenos físicos e químicos. Excluem-se destas acções os danos provocados por desastres naturais, acidentes ou fogo (Elbehairy, Hatem 2007).

Os modelos de previsão de custos ao longo do ciclo de vida de uma ponte dependem muito da previsão da deterioração futura dos elementos da ponte. Os custos referentes à reabilitação ou substituição de uma ponte representam um grande peso no custo do ciclo de vida de uma ponte, pelo que o rigor desta análise representa uma diminuição elevada do grau de incerteza no apuramento dos custos.

No fim dos anos 80, começaram a surgir modelos de deterioração para elementos de pontes com o objectivo de prever o estado de conservação futuro.

Os modelos de deterioração podem ser divididos em quatro tipos:

- i. Modelos baseados no mecanismo de deterioração
- ii. Modelos que se ajustam a resultados de deterioração verificados no passado noutras pontes e elementos (transições probabilísticos de Markov, algoritmos genéticos, etc.).

O ideal seria prever com a máxima exactidão o mecanismo de deterioração. No entanto, os modelos mais desenvolvidos no que se refere à definição do mecanismo de deterioração ainda estão em desenvolvimento, optando-se actualmente por modelos que estimam a probabilidade de ocorrer um determinado nível de deterioração no futuro.

Como foi analisado no capítulo 2, o modelo de previsão da deterioração mais utilizado nos módulos de apoio à decisão dos sistemas de gestão mais avançados é o modelo probabilístico de Markov, que será descrito no ponto seguinte.

### **6.2.1. PROCESSO DE DECISÃO DE MARKOV APLICADO A MODELOS DE DETERIORAÇÃO**

Os modelos de Markov utilizam matrizes probabilísticas de transição entre os diferentes estados de conservação. Assumem que a avaliação da conservação dos elementos de uma ponte é feita em intervalos de tempo iguais e que a probabilidade

de ocorrer uma alteração de um nível de conservação para outro depende apenas do estado actual do elemento e não de condições anteriores, excluindo mesmo possíveis acidentes ou outra informação histórica.

As matrizes probabilísticas de transição têm em conta o tipo de estrutura e material, o efeito da idade, envolvente ambiental e o tipo de via. A definição dos elementos descrita anteriormente no ponto 5.5.2 e exemplificada no anexo A.2, é muito importante pois deverá ser feita de forma a poder desenvolver modelos de deterioração para cada elemento que tenham características de degradação similares.

Na Figura 6-1 demonstra-se como se processa um esquema de decisão de Markov. Estas árvores de decisão podem ser utilizadas para determinar a probabilidade de estar num nível de avaliação em determinado momento ou para determinar o nível médio de conservação em determinado instante.

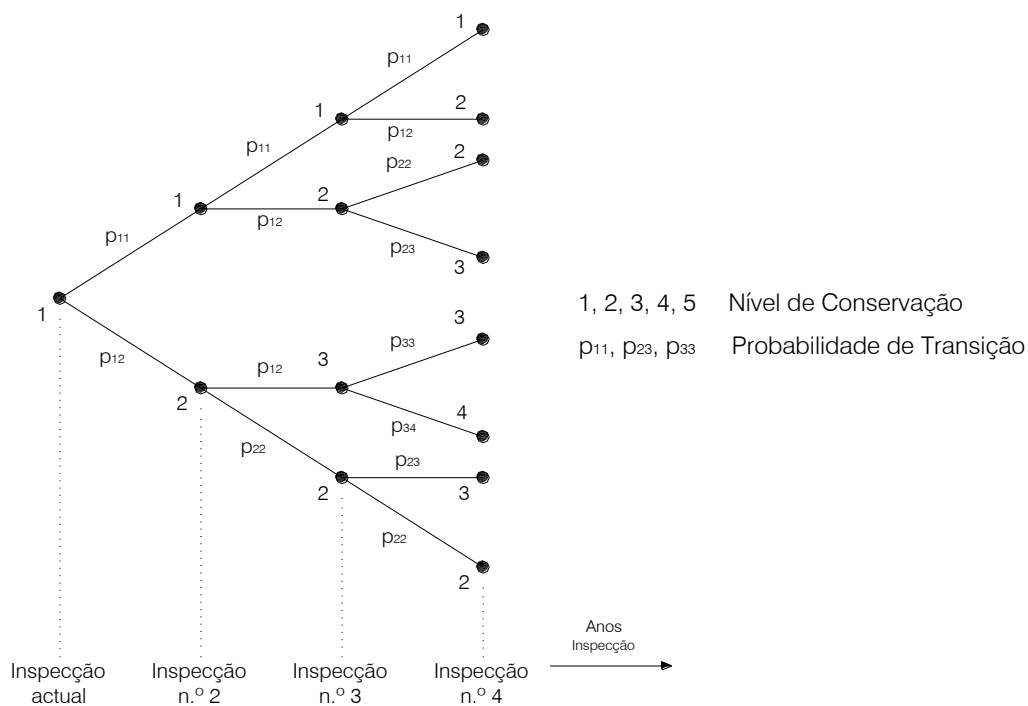


Figura 6-1 – Árvore de Decisão – Modelos probabilísticos de Markov (BRIME, 2001)

Por exemplo,

- A probabilidade de estar no nível de avaliação na inspeção n.º 2 é dada por  $p_{11} \cdot p_{12} + p_{12} \cdot p_{22}$ .

- A media do nível de conservação na inspeção n.º 2 pode ser determinado por

$$C_m(t,w) = p_{11}^2 + 2(p_{11} \cdot p_{12} + p_{12} \cdot p_{22}) + 3 p_{12} \cdot p_{23} \quad (\text{Eq. 6.1})$$

em que  $C_m(t,w)$  é o valor médio do nível de avaliação no instante  $t$  dado pela árvore de Markov. O número de probabilidades é dado por  $w$ .

Na Tabela 6-1 exemplifica-se um caso em que se procura utilizar uma matriz de transição probabilística para definir como se poderá degradar um elemento de uma ponte.

Matriz de transição probabilista						Nível de avaliação previsível							
		Nível de avaliação no fim do ano							Nível de avaliação previsível				
		1	2	3	4	5	Ano	1	2	3	4	5	
Estado no início do ano	1	96,93%	3,07%				0	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
	2	0,00%	96,37%	3,63%			1	96,93%	3,07%	0,00%	0,00%	0,00%	
	3			92,38%	7,62%		2	93,95%	5,93%	0,11%	0,00%	0,00%	
	4				87,06%	12,94%	3	91,07%	8,60%	0,32%	0,01%	0,00%	
	5					83,52%	4	88,27%	11,09%	0,61%	0,03%	0,00%	
							5	85,56%	13,39%	0,96%	0,07%	0,01%	
						6	82,94%	15,53%	1,38%	0,14%	0,01%		
						7	80,39%	17,52%	1,83%	0,22%	0,03%		
						8	77,92%	19,35%	2,33%	0,34%	0,05%		
						9	75,53%	21,04%	2,86%	0,47%	0,09%		
						10	73,21%	22,59%	3,40%	0,63%	0,13%		
						11	70,96%	24,02%	3,96%	0,80%	0,19%		

(Risco de rotura)

Tabela 6-1 – Tabelas de transição probabilística de modelação de deterioração (Thompson, P., Sobanjo, J. 2004)

As linhas representam o nível de avaliação no início do ano e as colunas o nível de avaliação esperado no fim do ano, sendo que o somatório por cada linha é sempre 100%. Estas matrizes foram desenvolvidas através do estudo de bases de dados de inspeção históricos, agrupando elementos com características semelhantes, por tipo de ponte, ambiente envolvente e solicitações a que esteve sujeito.

As matrizes descrevem a probabilidade de alteração do nível de avaliação sem que seja tomada qualquer tipo de reabilitação pelo que a probabilidade de melhoria de cada nível de conservação é sempre zero.

Vejamos como exemplo uma previsão tendo como elementos base o nível de conservação no ano 2. A probabilidade de obtermos um nível de conservação para o ano 3, calcula-se a partir do ano 2 por multiplicação matricial:

- Nível 1: 91,07 % = 96,93 % x 93,95 % = 91,07 %
- Nível 3: 0,32 % = 3,63 % x 5,93 % + 92,38 % x 0,11%

É possível derivar probabilidades de transição anuais se o número médio de anos entre mudanças de níveis for conhecido. Se por exemplo for necessário T anos para um conjunto de elementos semelhantes passarem de um nível para o próximo, então a probabilidade de num ano permanecer no mesmo nível pode ser dada por,

$$P = 0.50^{(1/T)} \quad (\text{Eq. 6.2})$$

Nos Estados Unidos foram consultados cerca de 650.000 registos do *National Bridge Inventory*, aos quais foram retirados registos duplicados, mal codificados, valores improváveis e de pontes que já tenham tido acções de reabilitação que melhoraram o seu nível de conservação. Sobraram cerca de 150.000 registos.

É a partir de estudos como estes que se podem construir modelos probabilísticos e curvas de deterioração. A envolvimento de peritos qualificados é também muito importante, resultando numa análise combinada de dados objectivos e experiência (teoria Bayesiana) que ajuda a diminuir a incertezas das previsões (Cruz, Paulo, J.S. – Universidade do Minho).

#### **i. Limitações dos modelos probabilísticos e futuras tendências**

Estes modelos têm algumas limitações, nomeadamente:

- Não consideram na previsão o efeito de acções de manutenção preventiva numa ponte. Este tipo de manutenção não melhora o índice de conservação da ponte mas normalmente retarda o processo de deterioração.
- Não relaciona o efeito que a deterioração de um elemento tem noutros elementos (efeitos secundários).

Os modelos de previsão da deterioração actuais, nomeadamente os modelos de transição probabilística permitem análises de previsão favoráveis numa análise global a rede viária.

Têm surgido trabalhos que demonstram que a utilização de modelos de previsão de deterioração baseados em algoritmos evolucionários, nomeadamente algoritmos genéticos (baseados na teoria da evolução das espécies) obtém resultados de previsão

precisos na contabilização dos efeitos da manutenção (Neves, Luís, C., Frangopol, Dan M., Cruz, Paulo, J. S. 2006).

### **6.3. METODOLOGIA DE DECISÃO**

O apoio à decisão de um gestor de pontes deve intervir ao nível da ponte e da rede viária. Importa separar estes dois níveis de decisão já que para cada um existem diferentes tipos de decisão a tomar.

Ao nível da rede viária, a decisão tem um carácter mais estratégico, definindo quais as verbas disponíveis para a conservação de toda a rede viária. Ao nível da ponte, o detalhe técnico tem um peso maior na decisão. Por isso, o sistema de decisão deve dividir-se em dois níveis de análise:

#### **i. Análise ao nível da ponte:**

- Inspeção da ponte.
- Avaliação do nível de conservação dos elementos e da ponte
- Definição de alertas caso haja pontes com nível de segurança potencialmente perigoso (elementos com nível conservação 5 e / ou pontes com Índice Performance inferior a 70%).
- Definição de cenários de actuação para cada elemento – Cenários base e cenários definidos pelos técnicos.
- Escolha de acções óptimas de conservação.
- Verificação de exequibilidade e Uniformização de acções.
- Organização de acções.

#### **ii. Análise ao nível da rede viária**

- Ordenação de pontes a intervir
- Verificação orçamental
- Aplicação de restrições de circulação ou requisição de verbas orçamentais extraordinárias.

Nos pontos seguintes vão ser desenvolvidos ferramentas de apoio à decisão para estes dois níveis de análise. Será também desenvolvido um fluxograma de actuação que resuma todo processo de tomada de decisão proposto.



### 6.3.2. APOIO À DECISÃO NA ANÁLISE AO NÍVEL DA PONTE

A necessidade de decidir surge normalmente após a realização de uma inspeção detalhada (normalmente realizadas de 5 em 5 anos) ou quando algo de inesperado acontece na ponte, detectado por uma inspeção corrente ou vistoria. De qualquer forma, sempre que isso ocorra será realizada uma Inspeção detalhada especial.

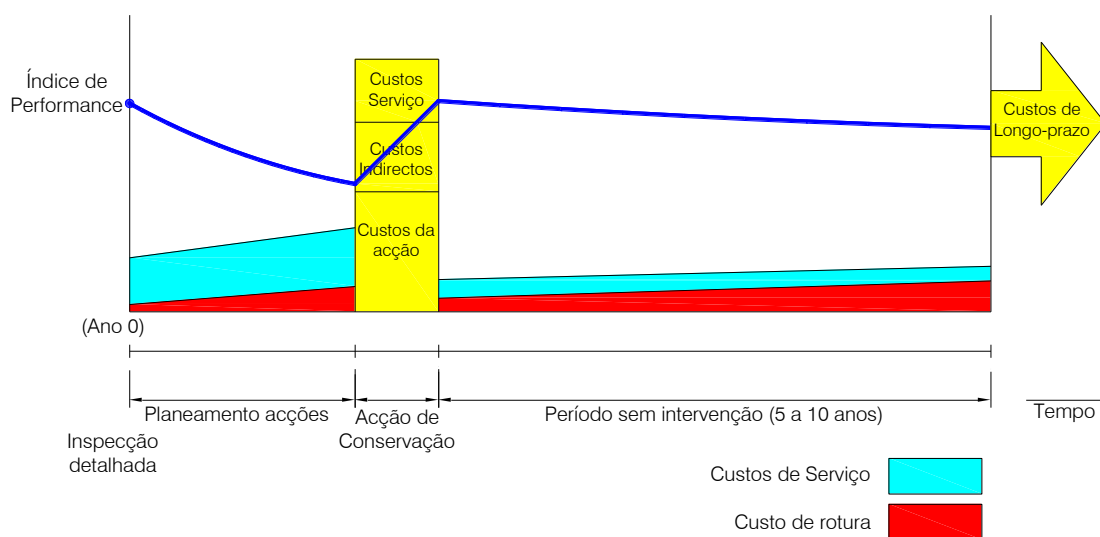


Figura 6-2 – Ciclo de análise de conservação ao nível da ponte (Thompson, P., Sobanjo, J. 2004)

Após a inspeção detalhada, avaliam-se os níveis de conservação dos elementos da ponte. Para cada nível de conservação, o sistema deve propor um conjunto de acções de conservação predefinidas, a que se juntarão as propostas pelo próprio técnico que realiza a análise. A decisão é tomada através de uma análise de custo benefício, comparando-se cada acção com o benefício que atribuem em relação ao cenário base – Nada fazer.

Os benefícios correspondem à diferença entre os custos da acção em análise com os custos da acção de nada fazer. Ou seja, avalia-se o efeito que cada acção terá na durabilidade do elemento e os custos associados.

Compara-se a deterioração prevista (por modelos de deterioração) do elemento para a opção de nada fazer e das outras opções. No entanto, há que ter em conta o momento em que a acção é realizada e a economia que se terá se este custo for adiado, atrasando a realização da intervenção.

Todos os custos deverão ser actualizados à data da análise (período 0), incluindo os de longo prazo. Cada valor deve ser descontado em função do período em que ocorre, sendo que quanto mais tarde ocorrer, menor será o seu impacto.

Face à altura em que esta análise será realizada (ponte já em serviço e após uma inspecção), os custos iniciais da ponte e os custos de inspecção não serão considerados por não serem relevantes para análise, nem diferirem grandemente de cenário para cenário.

A metodologia aqui analisada será para pontes ferroviárias, pelo que como foi referido em 4.2.1, os custos para os utilizadores são substituídos pelos custos de serviço.

### 6.3.2.1. Cálculo de Custos dos Cenários

Esta análise de cenários deverá ser realizada para todos os elementos da ponte. O cálculo do custo total de um cenário de actuação pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$C_{\text{acção } N} = C_{\text{Fase planeamento}} + C_{\text{Acção}} + C_{\text{Período sem intervenção}} + C_{\text{Longo prazo}} \quad (\text{Eq. 6.3})$$

Em que:

$$C_{\text{Fase planeamento}} = C_{\text{rotura } 1} + C_{\text{Serviço } 1} \quad (\text{Eq. 6.4})$$

.  $C_{\text{rotura } 1}$  - custos relativo ao risco da rotura acontecer entre a inspecção e a calendarização da acção. Corresponde à possibilidade ser necessário tomar medidas de emergência não programadas.

.  $C_{\text{Serviço } 1}$  – custos para os utilizadores por restrições à circulação

$$C_{\text{Acção } i j} = C_{D_{ij}} + C_{I_{ij}} + C_{S_{ij}} \quad (\text{Eq. 6.5})$$

.  $C_{D_{ij}}$  – custos directos da acção de conservação  $i$  para o nível de conservação  $j$ . Incluem materiais, equipamento e mão-de-obra. Poderão ser utilizados valores predefinidos no sistema ou poderão ser estimados pelo técnico que está a fazer a análise.

- .  $CI_i$  – custos devidos a mobilização e sinalização da fase de obra da acção i.
- .  $CS_i$  – custos de serviço para a duração da acção i.

$$C_{\text{Período sem intervenção}} = C_{\text{rotura 2}} + C_{\text{Serviço 2}} \quad (\text{Eq. 6.6})$$

- .  $C_{\text{rotura 2}}$  - custos relativo ao risco da rotura acontecer no período para o qual não está prevista nenhuma intervenção após a acção de conservação. Corresponde à possibilidade ser necessário tomar medidas de emergência não programadas.
- .  $C_{\text{Serviço 2}}$  – custos para os utilizadores por restrições à circulação que surjam

Este período sem intervenção pode ter uma duração entre uma a duas inspecções, permitindo fazer coincidir o trabalho de avaliação com as inspecções detalhadas. Caso o elemento se encontre em boas condições o período sem intervenção pode chegar a 10 anos, devendo ser avaliado detalhadamente a meio deste período.

#### $C_{\text{Longo prazo}}$

Após o fim do período da análise (fim do período sem intervenção), há que considerar ainda que o elemento terá custos de longo prazo que consistem na estimativa dos custos necessários a manter o elemento nos níveis de conservação esperados até ao fim da sua vida útil. Uma possibilidade é assumir que se irão tomar em cada 10 anos futuros de análise novamente as melhores acções para cada nível de conservação.

Esta componente deve ser simplificada já que se tratam de custos a ocorrer a 10 anos, que serão de alguma forma relativamente imprecisos para todos os cenários e reduzidos pela actualização, pelo facto de ocorrerem daqui a 10 anos.

#### 6.3.2.2. Custos do cenário de nada fazer

O cenário de nada fazer não tem obviamente o custo da acção, sendo apenas composto por:

$$C_{\text{Nada fazer}} = C_{\text{Fase planeamento}} + C_{\text{Período sem intervenção}} + C_{\text{Longo prazo}} \quad (\text{Eq. 6.7})$$

Os maiores custos serão os relativos ao risco de rotura. Estes aumentam em função da deterioração do elemento, já que nos aproximamos mais da possível rotura do elemento.

O modelo de custos deve prever este aumento do custo em proporção ao risco de rotura, precavendo assim a possibilidade de na análise ser transmitida ao gestor a ideia errada de que perante um elemento degradado com nível de conservação 5 (o pior) a opção de nada fazer possa ser possível.

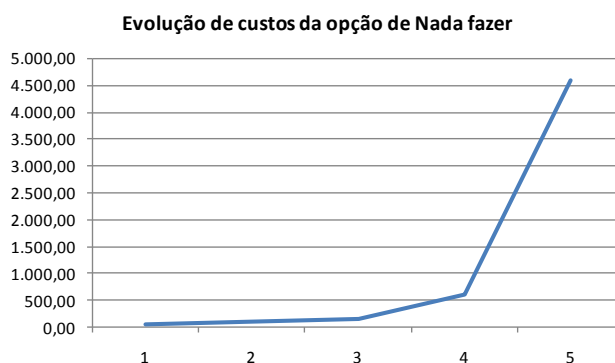


Figura 6-3 – Exemplo de evolução dos custos da opção de nada fazer com o nível de conservação (Thompson, P., Sobanjo, J. 2004)

Nas tabelas seguintes demonstra-se estas noções num exemplo recolhido de um estudo realizado para o Departamento da Florida (Thompson, P., Sobanjo, J. 2004).

**ELEMENTO - Viga metálica Pintada (Ambiente 3)**  
 Quantidade: 861.00 m  
 Custo de rotura \$14062.00 /m; Probabilidade de rotura: 16.48%

Nível de Conservação	Acção	Nível de Conservação - Probabilidades					C <sub>directo acção</sub>	C <sub>ndirecto acção</sub>	Custo Total	Benefício
		Prob1	Prob2	Prob3	Prob4	Prob5				
1	>> 0 Nada fazer	94,67	5,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,29	0,00
	1 Lavar elemento	94,67	5,33	0,00	0,00	0,00	24,30	8,51	82,10	-32,81
	2 Reparar pintura	94,67	5,33	0,00	0,00	0,00	54,69	27,34	131,32	-82,03
2	>> 0 Nada fazer	0,00	90,41	9,59	0,00	0,00	0,00	0,00	97,96	0,00
	1 Lavar elemento	0,00	90,41	9,59	0,00	0,00	24,30	8,51	130,77	-32,81
	2 Limpar e refazer pintura	85,20	13,84	0,96	0,00	0,00	148,74	74,37	277,27	-179,31
3	>> 0 Nada fazer	0,00	0,00	88,69	11,31	0,00	0,00	0,00	151,73	0,00
	1 Limpar e refazer pintura	87,57	11,71	0,72	0,00	0,00	170,61	85,31	308,86	-157,13
4	0 Nada fazer	0,00	0,00	0,00	85,42	14,58	0,00	0,00	596,51	0,00
	1 Limpar e refazer pintura	26,03	57,97	14,86	1,13	0,00	170,61	85,31	345,86	250,65
	>> 2 Substituir tipo de pintura	89,94	9,58	0,48	0,00	0,00	113,74	56,87	222,33	374,18
5	0 Nada fazer	0,00	0,00	0,00	0,00	83,52	0,00	0,00	4.585,05	0,00
	1 Reabilitar e reparar elemento	72,19	18,76	8,21	0,85	0,00	13.124,00	6.562,00	19.750,89	-15.165,84
	>> 2 Substituir elemento	91,12	8,52	0,36	0,00	0,00	2.187,33	765,57	3.004,02	1.581,03

Tabela 6-2 – Exemplo de análise de custos por cenário (Thompson, P., Sobanjo, J. 2004)

O maior desafio que se apresenta neste modelo de decisão é estimar se compensa adiar a execução de acções de conservação é favorável já que quanto mais tarde incorreremos num custo melhor. Esta análise terá que ter em conta que a partir de determinado nível de deterioração, o adiamento da intervenção poderá levar a custos bem superiores de reparação.

Para esta análise é essencial desenvolver modelos de previsão da deterioração de suporte o mais precisos possível.

### **6.3.3. ANÁLISE AO NÍVEL DA REDE VIÁRIA**

Normalmente ao nível da rede viária intervêm factores imprevisíveis que podem desviar a entidade viária de uma optimização das acções de manutenção das pontes. Estes factores podem ser:

- Desastres naturais (sismos, cheias).
- Procura de coordenação de trabalhos nas pontes com os da manutenção da restante via ou com um conjunto de pontes.
- Decisões políticas.
- Disponibilização extra de fundos que permitem a manutenção de todas as pontes.

A optimização ao nível da ponte pode não implicar uma optimização global da rede viária. Veja-se o exemplo de procurar adjudicar uma empreitada de reparação da pintura de pontes metálicas de toda uma rede viária. Os custos de adjudicação poderão ser mais vantajosos (redução da componente indirecta), mas poder-se-á estar a reparar pontes que ainda não precisem dessa acção de conservação, gastando aqui verbas que poderiam ser usadas noutras pontes.

Ao procurar coordenar a manutenção das pontes com a própria via, pode-se também estar a incorrer em aumentos de custos de reparação de pontes por atrasar essas acções de conservação (BRIME, 2001).

É complicado atingir um ponto de optimização perfeito na estratégia de conservação ao nível da rede viária e da ponte. No entanto, a análise a 5, 10 anos de acções ao nível

da ponte referida no ponto anterior poderão permitir uma maior agilidade na optimização global da rede viária já que se estará a recolher informação de necessidades orçamentais a um horizonte relativamente elevado.

De qualquer forma, deixa-se aqui uma proposta que poderá auxiliar o gestor, admitindo que não existem os factores externos a esta análise anteriormente descritos.

#### **6.3.3.1. Ordenação de pontes para optimização da Estratégia de Conservação**

A ordenação de pontes para acções de conservação não pode ser feita de uma forma simples. Se efectuarmos uma ordenação por valor, dada as limitações orçamentais existentes, estaremos sempre a deixar pontes com elevados custos de manutenção de fora, com o risco inerente a uma opção dessas. Por isso, deverá ser realizada uma ordenação também baseada numa análise custo-benefício, seguindo a seguinte metodologia (BRIME, 2001):

1. Determinar a opção optimizada de conservação para cada ponte.
2. Admitir que essa opção será adiada. Chamar à poupança conseguida com esse adiamento de Benefícios.
3. Determinar um novo plano de conservação optimizado para cada ponte. Chamar a essa opção Custos.
4. Calcular o rácio Custo / Benefícios para cada ponte, sendo que as que obterem um rácio mais alto deverão ser as pontes prioritárias no plano de conservação.
5. Esgotar a verba disponível para esse ano, deixando as restantes pontes para o próximo ano.

#### **6.4. FLUXOGRAMA DE ACTUAÇÃO NO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO**

O fluxograma seguinte procura esquematizar um sistema de apoio à tomada de decisão na conservação de pontes. A seguir serão descritos os passos a tomar nesta análise de suporte à decisão.

## ANÁLISE AO NÍVEL DA PONTE

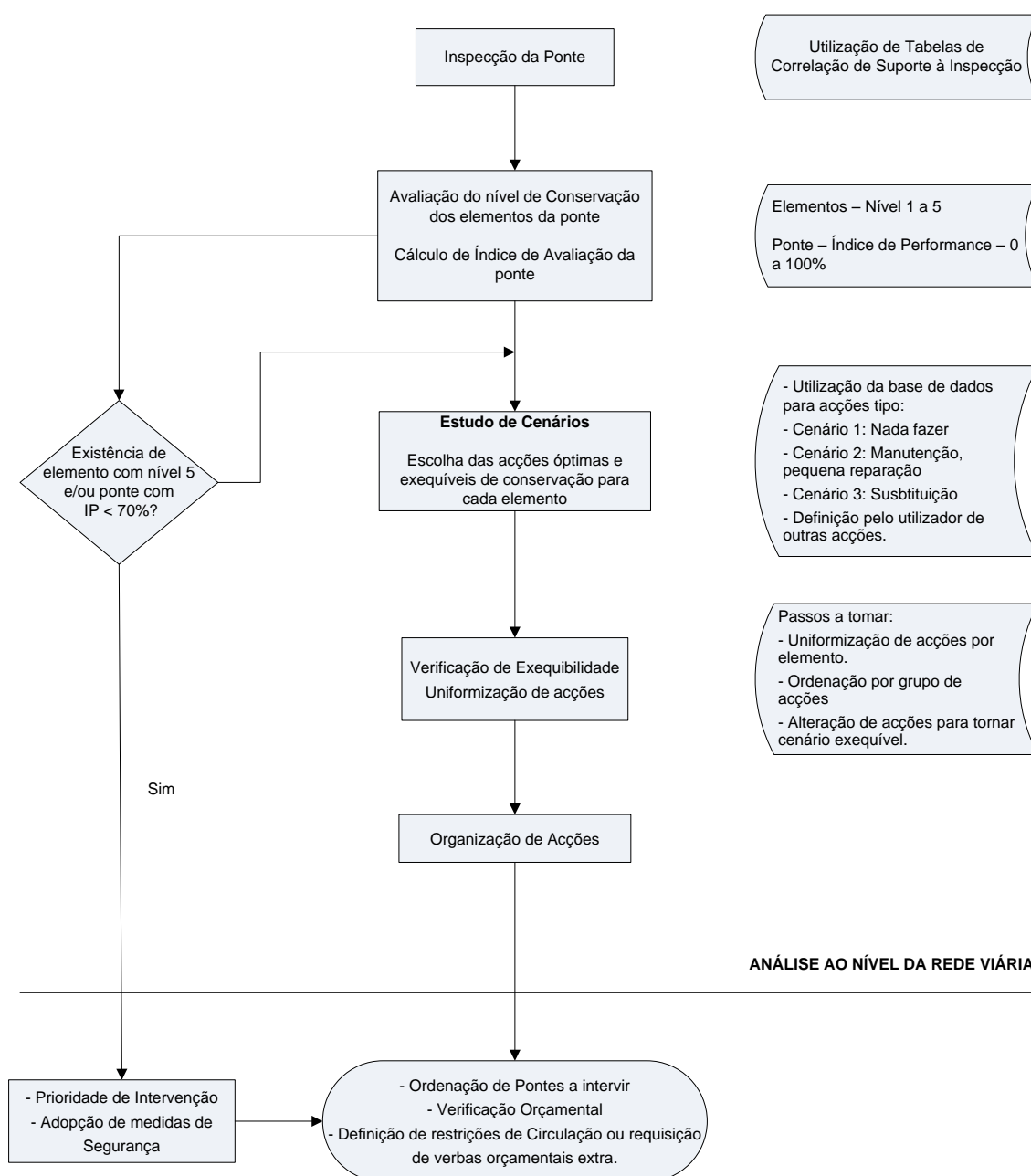


Figura 6-4 – Processo de Decisão na Gestão de Conservação de Pontes

**Passo 1 – Inspeção**

Admitamos que a inspeção decorre no ano 0 de análise (figura Figura 6-2). É esperado que nesta inspeção se classifiquem os de acordo com os níveis de avaliação da conservação dos elementos (valores de 1 a 5) anteriormente descritos no ponto 5.5.2, com as tabelas causa - efeito e manuais de apoio à inspeção.

## Passo 2 – Avaliação e Sinal de Alerta

O resultado da inspeção dá origem a um conjunto de níveis de conservação dos elementos constituintes da ponte. A multiplicação de cada elemento pela sua extensão e pelos seus pesos relativos permitem calcular o Índice de Performance da ponte (0 a 100%).

Suponhamos a mesma ponte em treliça metálica da Figura 5-19. Admitamos que a sua inspeção deu os resultados descritos na tabela seguinte. Os valores de custos de rotura são meramente exemplificativos.

Elemento	Quantidade total	Un.	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Custos de rotura
Tabuleiro	250	m <sup>2</sup>			250			€ 400
Viga treliça	100	m	60	30	10			€ 3.000
Encontros	12	m	12					€ 9.000
Pilares	1	un.	1					€ 100.000
Apoios	4	Un.		2	2	Assume-se só 3 níveis		€ 3.000

Tabela 6-3 – Exemplo de resultados de Inspeção

Os pesos relativos a cada nível variam por interpolação linear. Assim, para o nível 3 do tabuleiro o peso relativo é de:

$$\text{Peso}_{\text{Nível 3}} = 1 - (5 - 1) / (3-1) = 0.50 \quad (\text{Eq. 6.8})$$

Elemento	Quantidade total	Custo de rotura	Cálculo	Índice de Performance do elemento
Tabuleiro	250	€ 400	$250 \times 0.50 \times 400 = 50.000$	$50.000 / (250 \times 400) = 50\%$
Viga treliça	100	€ 3.000	$(60 \times 1.0 + 30 \times 0.75 + 10 \times 0.50) \times 3.000 = 262.500$	87,5 %
Encontros	12	€ 9.000	$12 \times 9.000 = 108.000$	100 %
Pilares	1	€ 100.000	100.000	100%
Apoios	4	€ 3.000	$2 \times 0.50 \times 3.000 = 3.000$	25%
<b>Ponte</b>		<b>€ 620.000</b>	<b>€ 523.500</b>	<b>84,4 %</b>

Tabela 6-4 – Cálculo do Índice de performance

O índice de performance pode ser aplicado também a cada elemento. Neste caso, a ponte tem um índice de performance de 84,4%.

Caso existam elementos com níveis de conservação entre iguais a 5 em elementos estruturais deve prever-se a realização de uma inspeção detalhada especial /



estrutural. Além disso, caso existam pontes com índice de performance inferiores a 70%, deve ser dada prioridade imediata à sua conservação.

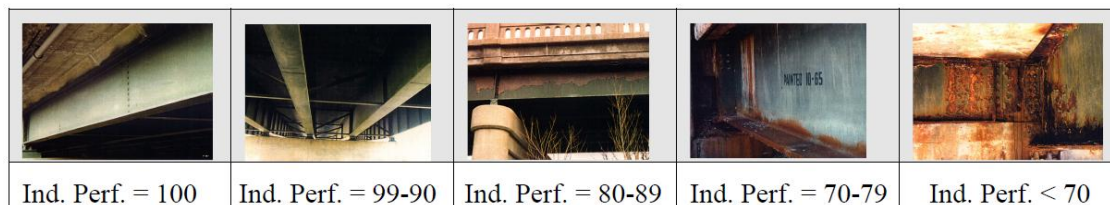


Figura 6-5 – Exemplos de Índices de performance de vigas metálicas (Thompson, Paul 2000)

### Passo 3 – Estudo de cenários e de acções para cada elemento

Após a recolha e importação dos resultados de avaliação de todos os elementos, o sistema deverá auxiliar o inspetor através da proposta imediata de acções de conservação para cada tipo de elemento em função do seu nível de conservação.

Na tabela seguinte é mostrado um conjunto de acções propostas para um elemento metálico com pintura.

Elemento	Nível de Conservação	1	2	3	4	5
	N.º Acção	Sem Corrosão	Deterioração da Pintura	Formação de ferrugem	Corrosão activa	Perda de Secção
Treliça metálica	0	Nada fazer	Nada fazer	Nada fazer	Nada fazer	Nada fazer
	1	Limpeza da superfície	Limpeza da superfície	Limpeza a vácuo de ferrugem ( <i>spot blast</i> ) e pintura	Limpeza a vácuo de ferrugem ( <i>spot blast</i> ) e pintura	Reabilitação e reforço
	2	Manutenção corrente	Limpeza e Repintura		Decapagem e substituição de sistema de pintura	Substituir elemento

Tabela 6-5 – Exemplo de acções de conservação predefinidas por elemento e por nível de conservação

A escolha da melhor opção deverá ser feita procurando a solução que trará um menor custo de conservação, devendo a decisão ser tomada de acordo com um rácio Benefício / Custo.

### Passo 4 - Verificação de exequibilidade e uniformização de acções

A escolha da melhor opção para cada elemento deverá recorrer a uma análise por parte do técnico, já que podemos chegar a situações em que teremos para o mesmo elemento mais que uma proposta de acção. Imaginemos um elemento em que apenas 40% do seu comprimento necessitava de pintura, sendo que os restantes 60% estão como novos. O sistema iria sugerir decapar e repintar 40% do elemento e nada fazer

no restante. Teoricamente seria perfeito mas na prática seria um desperdício de recursos planejar e deslocar meios para realizar uma reparação como uma pintura a apenas uma parte de um elemento.

Poder-se-ão definir critérios, como o serão aplicar apenas uma acção de reparação por elemento, mas a melhor opção terá que passar sempre pela avaliação e julgamento técnico, procurando uniformizar as acções por elementos semelhantes de forma a minimizar os custos indirectos associados à acção de manutenção ou reparação.

### **Passo 5 – Organização das acções**

Este passo funciona como ligação entre os dois níveis de análise (ponte e rede viária), funcionando como um resumo de elementos a fornecer a quem faz a gestão da conservação ao nível da rede viária. Devem aqui definir-se pelo menos duas opções de conservação, facilitando o passo seguinte de ordenação de pontes para optimização da estratégia de conservação de pontes.

### **Passo 6 – Análise ao nível da rede viária**

Ao nível da rede viária dever-se-á fazer uma análise de custo benefício que originará uma listagem com a ordenação das pontes.

Perante o cenário corrente de limitações orçamentais dever-se-á esgotar as verbas disponíveis com o máximo de pontes possíveis, seguindo a ordenação anteriormente definida.

Caso haja possibilidade e necessidade de recorrer a orçamentos extra, continua-se a estratégia de conservação definida. Se isso não for possível, devem definir-se caso a caso restrições de circulação (se necessário) na rede viária de forma a evitar riscos de circulação para os utilizadores.

## 7. CONCLUSÕES

### 7.1. SUMÁRIO E CONCLUSÕES

O investimento na construção de infra-estruturas de transporte seguida por Portugal nos últimos anos implicará a adopção de uma estratégia de conservação que garanta a manutenção em serviço destes activos ao longo da vida útil para que foram projectados. Os fundos dispendidos em manutenção e conservação têm vindo a aumentar, pelo que a sua gestão deve ser feita de uma forma eficiente, procurando tomar as decisões baseadas em aspectos técnicos mas também económicos, sociais e ambientais.

As pontes permitem vencer obstáculos naturais e artificiais, garantindo a comunicação entre os homens e a circulação de bens, mercadorias e serviços. São essenciais em qualquer rede viária e representam uma parcela de custos bem superior à sua extensão relativa na rede viária.

A durabilidade e a optimização de um processo de conservação de pontes dependem de um conjunto de medidas e decisões tomadas ao longo de todo o ciclo de vida, iniciando-se na fase de concepção e terminando com o fim da vida útil da ponte.

A concepção representa uma etapa essencial na gestão de pontes. A escolha da solução a adoptar deve procurar atender às necessidades actuais e futuras de serviço, procurando adequar a solução estrutural e os materiais utilizados ao local em que a ponte se insere (envolvente ambiental, morfologia). É nesta etapa que se deve realizar um estudo económico de custos do ciclo de vida tendo em conta os custos iniciais (projecto, construção) mas também os custos inerentes à inspecção e conservação de uma infra-estrutura com um tempo de vida útil que se pretende longo.

Ao nível do projecto deve-se atender a detalhes e pormenores construtivos que permitirão sustentar a durabilidade da ponte. Muitas vezes são pormenores construtivos e opções tomadas em fase de projecto que se devidamente executadas em obra, determinam se uma ponte terá que ser sujeita a acções de manutenção e reparação frequentes ou apenas a um plano de manutenção e inspecção preventivo.

A instalação de sistemas de monitorização de pontes, a prever em fase de projecto, contribui para a redução de riscos e para um estudo mais aprofundado do comportamento das estruturas, o que permitirá o desenvolvimento de modelos de previsão e deterioração mais fiáveis.

Os sistemas de gestão de pontes devem ser ferramentas de suporte à organização mas também à tomada de decisão de um gestor viário. A sua implementação é complexa devendo ser realizada de forma sequencial e sistematizada. A criação da base de dados e a inventariação das pontes devem ser elaborados de acordo com o sistema de avaliação e decisão preconizado. Terá que haver um alinhamento entre estes módulos do sistema pois uns dependem dos outros.

A inspecção de pontes deve ser realizada seguindo procedimentos normalizados, o que retirará eventuais subjectividades na avaliação. Além disso, as inspecções deverão ser realizadas por técnicos com formação adequada, sujeitos a avaliação e certificados.

Os critérios de avaliação de uma ponte devem ser abrangentes e baseados na avaliação dos elementos que compõem a ponte. A divisão da ponte em elementos permite a definição de acções de conservação específicas, que incidam sobre as anomalias identificadas e sobre as suas causas em cada tipo de elemento.

A utilização de meios de suporte à avaliação, tais como tabelas de relação causa – efeito e exemplos fotográficos de anomalias permitem avaliações e selecção de acções de manutenção ou reparação mais fiáveis. As diferentes opções de actuação devem ser realistas e ajustadas ao nível de conservação do elemento.

A tomada de decisão de actuação perante o resultado de avaliação deve seguir princípios que assegurem a optimização de recursos, tendo sempre em conta factores históricos, sociais e ambientais que poderão sobrepor-se a qualquer optimização (pontes históricas, monumentos nacionais, etc.). Para isso é importante utilizar critérios de decisão técnicos e económicos baseados numa avaliação multi-cenários que procurem estimar custos directos (da acção de conservação) e de longo prazo, comparando os efeitos de diferentes opções de conservação (análise custo – benefício).

Estes sistemas de decisão devem ser desenvolvidos através de algoritmos automatizados que reduzam a possibilidade de erro, mas que permitam a introdução de cenários definidos pelo técnico para serem comparados com cenários predefinidos. A optimização do processo de decisão deve ser realizada conciliando a análise ao nível da ponte e da rede viária. Ao nível da rede viária, a decisão tem normalmente um carácter mais estratégico, definindo quais as verbas disponíveis para a conservação de toda a rede viária. Ao nível da ponte, o detalhe técnico tem um peso maior na decisão. Resumindo, todo o processo de gestão do ciclo de vida de pontes deve procurar a maximização da durabilidade da ponte, utilizando para isso os recursos disponíveis de uma forma eficiente e sustentada.

## **7.2. CONTRIBUTOS DA DISSERTAÇÃO**

Ao longo deste trabalho procurou-se desenvolver um estudo de metodologias de gestão do ciclo de vida de pontes que visam a optimização da durabilidade e conservação das pontes, procurando aproveitar o que se faz actualmente em países mais desenvolvidos nesta matéria, retirando daí experiências que possam ser transpostas para a gestão de pontes em Portugal.

As contribuições principais deste trabalho tomam a forma de recomendações tanto ao nível da regulamentação como das linhas gerais do que deverá ser as linhas gerais de uma gestão de ciclo de vida que se pretende comece a ser feita na concepção e não na recepção provisória da obra.

### **7.2.1. REGULAMENTAÇÃO**

É-se de opinião que a regulamentação do processo a gestão e conservação de pontes deve ser um objectivo a atingir a nível europeu, à semelhança do que já acontece nos Estados Unidos. A uniformização de métodos de inspecção e avaliação permitirão gerir e definir níveis de serviço e segurança (índices de performance europeus de todas as pontes) iguais em todas as redes viárias da União Europeia, tanto no transporte ferroviário de alta velocidade como no de outro tipo de vias de comunicação. Além disso, a uniformização de métodos de avaliação permitirá à comunidade científica, a quem cabe um papel decisivo no apoio à gestão de pontes, utilizar um maior número

de registos históricos de avaliação da deterioração que permitirão desenvolver modelos de previsão do comportamento das pontes.

Numa altura em que cada vez mais se assiste à contratualização de empreendimentos em regime de concessão ou em sistema de concepção, construção, financiamento e exploração, é importante regulamentar como se deverá desenrolar a gestão e conservação da rede viária e das pontes. Estas infra-estruturas têm um período de vida útil superiores às da concessão (normalmente 30 anos), pelo que convém acautelar a adopção e acompanhamento de uma estratégia de conservação e manutenção que assegure aos donos de obra receberem as infra-estruturas em bom estado, não tendo que realizar investimentos imprevistos, no fim do período de exploração ou concessão. A falta de regulamentação tem levado a que sejam as próprias concessionárias a criar e fazer cumprir as suas próprias regras internas de gestão, não havendo acompanhamento por parte das entidades públicas.

### **7.2.2. FASE DE PROJECTO E CONSTRUÇÃO**

A atenção crescente à fase de projecto deverá levar a uma consciencialização de todos os intervenientes que boa parte dos problemas de manutenção e de deterioração de uma ponte podem ser evitados com detalhes construtivos simples e eficazes. A adopção de projectos de durabilidade deve ser uma obrigatoriedade regulamentar a incluir em projectos de obras especiais como as pontes.

Cabe também às entidades adjudicantes um papel muito importante no acompanhamento da fase de projecto. O gestor a quem caberá futuramente acompanhar a conservação da ponte durante o seu período de serviço deverá surgir no processo mais cedo, cabendo-lhe o acompanhamento já na fase de projecto, permitindo contribuir com o seu conhecimento e experiência recolhida em anteriores inspecções e decisões de conservação e também familiarizar-se já com o que será uma nova ponte que ficará a seu cargo.

### **7.2.3. INSPECÇÃO E MONITORIZAÇÃO**

Ao nível da inspecção, a formação e certificação dos inspectores deve ser obrigatória o que assegurará maior qualidade na avaliação das pontes e elementos.

A inspecção visual é ainda a principal fonte de dados para avaliar o estado de uma ponte. Dever-se-á caminhar para a incorporação de ensaios não destrutivos de auxílio à avaliação da conservação das pontes. O apoio à inspecção deve ainda ser complementado com informação que relacione causas e efeitos (anomalias) e fotografias de classificação de anomalias, permitindo a melhoria da qualidade da inspecção.

A aposta em sistemas de monitorização deve difundir-se cada vez mais, já que permitirão a detecção atempada de sinais de anomalias que poderão ser evitadas logo no início de desenvolvimento. Esta monitorização tem também a vantagem de fornecer informação valiosíssima para o aperfeiçoamento de modelos de deterioração mais fiáveis. Além disso, a crescente utilização destes sistemas poderá permitir às diversas entidades gestoras a reduções de custos da estrutura de inspecção, podendo possibilitar intervalos entre inspecções periódicas mais alargados.

#### **7.2.4. AVALIAÇÃO E DECISÃO**

A avaliação da conservação das pontes deverá resultar da avaliação dos diferentes elementos que a constituem, ponderados pela importância relativa de uns em relação a outros. Os critérios de avaliação devem ser simples e deverão ter em conta aspectos relacionados com o nível de conservação. A importância da ponte tendo em conta a rede viária em que se insere não deve influenciar o resultado da avaliação, mas sim a ordenação de prioridades de actuação ao nível da rede viária.

A construção de um sistema de decisão não é fácil e deverá ser definido previamente à fase de inventariação e criação da base de dados. Todo o planeamento de inspecções e elementos a recolher nas inspecções deverão ser feitos de forma a alimentar o sistema de decisão.

A tomada de decisão deverá ser feita tendo em conta aspectos económicos e técnicos de longo prazo, permitindo também a introdução de aspectos sociais, históricos e ambientais na análise. A simulação e ensaios de cenários a 5 ou 10 anos permitirá planejar melhor os recursos disponíveis pela entidade viária podendo assim definir programas de conservação ao nível de toda a rede (economias de escala).

### **7.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

A fase de desenvolvimento de sistemas de gestão de pontes em que se encontram a maioria das entidades viárias portuguesas deve ser aproveitada para recolher o maior numero de ensinamentos do que tem vindo a ser feito noutros países, mas também para criar melhorias e desenvolvimentos.

Este trabalho inseriu-se no âmbito de uma dissertação de mestrado com as óbvias limitações de meios e de tempo. Os desenvolvimentos futuros a propor foram em parte já referidos nas conclusões e contributos deste trabalho, podendo no entanto ser considerados os seguintes assuntos a desenvolver:

#### **i. Âmbito geral**

1. Regulamentação de procedimentos de conservação, inspecção e avaliação uniformizados na União Europeia.
2. Definição de Plano de gestão e conservação de infra-estruturas aos quais as empresas concessionárias deverão obedecer. A forma de actuação deverá ser definida pela entidade pública e não proposta pelo concorrente à concessão.
3. Certificação dos especialistas em inspecção e avaliação de pontes pela Ordem dos Engenheiros.

#### **ii. Âmbito de trabalhos de investigação e desenvolvimento**

1. Definição de modelo de projecto de durabilidade a implementar obrigatoriamente em projectos de pontes e de estruturas especiais.
2. Elaboração de tabelas que relacionem anomalias, causas e acções de conservação ou reparação para todos os elementos das pontes.
3. Desenvolvimento de sistema de avaliação que tenham em conta não só resultados de inspecções visuais mas também que tenha em conta o resultado dos ensaios não destrutivos e valores recolhidos em sistemas de monitorização instalados nas pontes.
4. Desenvolvimento de modelos de avaliação expedita da capacidade de carga e fiabilidade estrutural das pontes. A evolução das solicitações a que as pontes estão sujeitas, não só de volume mas também de velocidade, deverá levar à avaliação do estado da ponte a ter em conta resultados de inspecção mas



também avaliações de capacidade de carga. Preferencialmente, estes modelos de avaliação expedita deverão estar regulamentados.

5. Construção de modelos de previsão de deterioração com base nos resultados observados na inspeção mas também nos resultados de ensaios não destrutivos e de sistemas de monitorização.
6. Desenvolvimento de modelos de previsão de deterioração baseados em algoritmos evolucionários, nomeadamente algoritmos genéticos baseados na teoria da evolução da espécie. Estes algoritmos têm demonstrado em muitos trabalhos de investigação e desenvolvimento resultados de previsão muito precisos.



## **ANEXOS**



## **A.1 - BASE DE DADOS DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE PONTES**

### **A.1.1 - INTRODUÇÃO**

A parte mais importante de um sistema de gestão de pontes é a sua base de dados. Esta deve assentar num rigoroso inventário das pontes do sistema viário e deverá ser permanentemente actualizada, através da introdução periódica da informação recolhida nas inspecções e da descrição de todas as acções de manutenção e reforço executadas. A base de dados deve ser flexível, de fácil utilização e consulta, permitindo a definição de critérios e filtros de consulta.

Porém, não será a informatização da base de dados que lhe dará credibilidade, mas sim a qualificação dos técnicos que a compuseram e o processo de recolha de informação.

Muita da informação necessária à constituição da base de dados já existe, em forma de papel e em arquivos das entidades às quais os sistemas viários e as pontes pertencem. O primeiro passo a dar para avançar para um sistema com uma base de dados informatizada e fiável será a recolha e análise de toda esta informação, complementando-a com um levantamento “in situ” das informações que se encontrem desaparecidas ou que revelem pouca fiabilidade. Deve então ser elaborado um Plano de Inspeção e Levantamento rigoroso a todas as pontes existentes no sistema viário.

A informação deverá ser recolhida por pessoal qualificado, que entenda o que é uma ponte e como esta funciona. As equipas de inspecção deverão ser constituídas por engenheiros ou técnicos com muitos anos de experiência na área de pontes, que devem estar conscientes da importância da informação que estão a recolher. A sua preparação deve incidir muito na correcta interpretação dos dados recolhidos (formação permanente para aperfeiçoamento e conhecimento de novas deficiências detectadas por outros inspectores).

### A.1.1.1 - ENQUADRAMENTO NO SISTEMA

A base de dados funciona como ponto de ligação e suporte entre os vários módulos que constituem o sistema de gestão. Eles são:

- a. Inventário
- b. Inspeção e Monitorização
- c. Acções de Manutenção e Reparação
- d. Acções Extraordinárias: Reforço e Substituição
- e. Apoio à decisão

### A.1.1.2 - ORGANIZAÇÃO GERAL

A base de dados é constituída por dois tipos de informação:

- Informação fixa, que não muda com o tempo e que contém todos os dados gerais da ponte (Inventário).
- Informação Variável, que varia com o tempo e com o estado da ponte (Informação recolhida nas Inspeções).

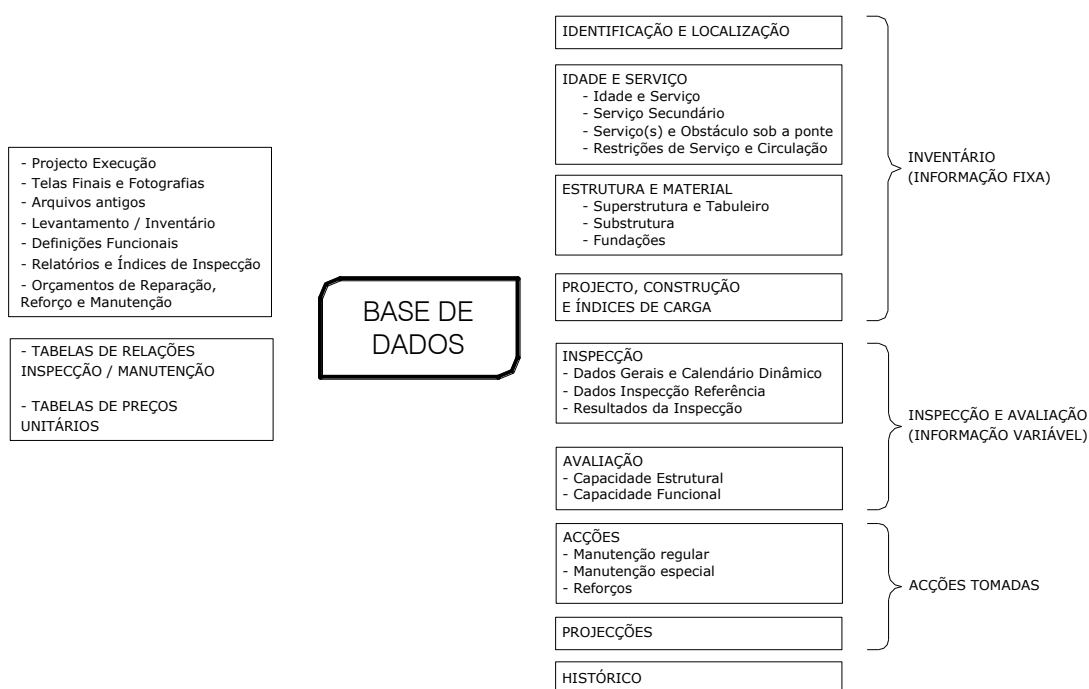


Figura A.1-1 – Organização de uma base de dados

Neste trabalho só serão desenvolvidos os elementos referentes ao inventário (Informação fixa) para pontes ferroviárias.

## **A.1. 2 - INVENTÁRIO**

A base de dados deve assentar num inventário rigoroso e permanentemente actualizado que contenha o registo de todas as pontes existentes no sistema ferroviário. Este inventário é preenchido com:

- Projecto de Execução
- Telas finais e fotografias
- Arquivos antigos e informações diversas (em pontes antigas muitas vezes recolhe-se informação em jornais da época)
- Plano de Inspeção e Levantamento rigoroso

Após esta recolha de informação poder-se-á passar a preencher o inventário da base de dados. Nos pontos seguintes serão apresentadas tabelas descritivas dos itens que compõem o esquema de inventário proposto.

### **A.1.2.1 - IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO**

Neste quadro são descritos os dados identificativos da ponte, tais como o nome de baptismo e o código de identificação. Este deve estar visível no encontro da ponte e deve estar num local visível. O código deve conter as iniciais da linha de qual faz parte e deverá estar numerada sequencialmente na linha.

É também neste quadro que se apresentam os dados de localização da ponte, nomeadamente a sua posição geográfica, o tipo de local em que se insere (urbano, montanhoso, litoral, interior, etc.), o clima local e a sua posição no sistema viário em que está inserida (Rede, linha, km, estações e apeadeiros mais próximos, etc.). Se a ponte se inserir numa via especial de acesso (de importância Regional, Nacional ou militar) ou de interesse especial (interesse histórico, ponte de fronteira, etc.), deverão ser preenchidos estes campos especiais. Na tabela Tabela A.1-1 são apresentados os itens que compõem este quadro.

Juntamente com esta informação devem existir cópias de vários elementos relativos à ponte. Destes destacam-se:

- Correspondência – devem estar registadas todas as comunicações feitas (por carta, fax, telefone ou correio electrónico) durante a fase de projecto, construção, inspecções, etc., registadas e ordenadas cronologicamente.
- Fotografias – Cada ponte deve conter pelo menos duas fotografias, uma aérea (planta) e uma lateral (corte). Além destas fotos poder-se-ão também guardar fotos que mostrem os maiores defeitos na ponte ou outras características importantes da ponte.

INVENTÁRIO – IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO		
ITEM	DESCRIÇÃO	Comentário
<b>ID</b>	Código de Identificação na base de dados	Este código é criado automaticamente pela Base de Dados
<b>Número da Ponte</b>	Codificação criada pela entidade concessionária	A REFER utiliza uma codificação Sugestão: Código de linha, e numeração ascendente em função do km.
<b>Nome da Ponte</b>	Nome de baptismo	Nome da ponte
<b>Fotografia e desenho</b>	Lateralmente deve surgir automaticamente duas fotos da ponte (alçado e planta) e um desenho.	
<b>Local</b>	Povoação - concelho - Distrito	Povoação, concelho, distrito.
<b>Tipo de Local</b>	Descrição da envolvente à ponte	Sob um rio, em cidade, campo aberto, montanha, litoral, interior.
	Caracterização Climática	Agressivo, moderadamente agressivo, ameno.
<b>Coordenadas Geográficas</b>	Latitude	GPS. coordenadas latitude e longitude. Permite localizar a ponte, pela introdução das coordenadas geográficas, usando mapas que identifiquem o local em altitude, zona climática, etc.
	Longitude	
<b>Rede</b>	Principal	Código de linhas atribuído pela REFER. Pode ser criado um para as linhas de alta velocidade.
	Complementar	
	Secundária	
	RAVE	
<b>Linha</b>	Código da linha e nome	Linhas codificadas pela entidade concessionária
<b>km</b>	km da via	Ponto de entrada e de saída (PK X+XXX e PK X+XXX)
<b>Estação / Apeadeiro</b>	Apeadeiro e estação mais próximo, a montante e a jusante.	
<b>Ponte de Fronteira</b>	País	Referir a linha e o país com a qual a ponte estabelece ligação.
	Linha	
	Número da ponte	
<b>Significado Histórico da ponte</b>	Património Nacional, Mundial, etc.	Este campo deve ser preenchido sempre que o significado histórico da ponte seja destacado por alguma entidade Local, Regional, Nacional ou Internacional
<b>Via Especial de Acesso</b>	S/N	Classificar se a ponte/via está localizada num eixo principal de acesso a instalações militares, portos, etc. Ou seja, se está numa via de fluxo prioritária do país.
	Significado	

Tabela A.1-1 - Inventário – identificação e localização



### A.1.2.2 - IDADE E SERVIÇO

Este quadro é muito importante pois apresenta o tipo e nível de serviço que a ponte oferece. A idade da ponte também é apresentada aqui para que se possa associar a ponte e o tipo de serviço com os anos em que a ponte foi construída ou que foi restaurada.

INVENTÁRIO – IDADE E SERVIÇO		
ITEM	DESCRIÇÃO	Comentário
Ano de Construção	Ano de conclusão	4 dígitos. Se não for conhecida fazer uma estimativa baseada em dados e registos (jornais, etc.)
Ano de Reconstrução	Ano de conclusão	4 dígitos. Ano da última reconstrução efectuada na ponte.
Estrutura paralela	Este item serve para indicar se existe ou não uma ponte paralela.	Classificar com E / D, consoante se trate duma ou outra das pontes e assinalar N se não existir.
Serviço na ponte	Ferroviário	O sistema está direccionado para a ferrovia
Classe de Função	Passageiros / Mercadorias, mista e matérias perigosas.	Classificar a ponte / estrada em função do tipo de via férrea. Referir se circulam mercadorias e passageiros ou só um destes dois (esta consulta é feita nas características da linha da REFER).
Tipologia da Via	Na via Na ponte	Via única, dupla ou múltipla Via única, dupla ou múltipla
Tipo de Bitola	Via Larga (1668 mm); Via Estreita (1000 mm)	
Altura livre	Tipo CPb+, tipo CPb ou contorno de via estreito	UIC 506
Linha Electrificada	S/N	
Cargas máximas na via	<b>Classificação</b> A B C ....	<b>Ton. / eixo e Ton. / m</b>
Carga máxima na ponte	RSA ou parâmetros de cálculo	Ver se tem alguma restrição de carga e velocidade
Velocidade máxima via	Patamares de velocidade	Ver se tem alguma restrição de carga e velocidade
Tráfego	Tráfego médio diário (TMD) Tráfego pesado	4 dígitos. Deve ser introduzido o número de veículos ou comboios que passam na ponte em %. Representa a percentagem de tráfego que é devido a mercadorias. Diferenciar os comboios de carga. Se a informação não existir usar uma estimativa baseada no tipo de via.
	Ano do registo do TMD	Ano da informação
Estado Actual do Serviço	Fornecer informação sobre o estado actual de funcionamento da ponte. Caso existam restrições de circulação, consultar quadro secundário de restrições).	A - aberta, sem restrições B - Aberta, limitação recomendada mas não implementada. D – Aberta, com precauções. Deverá ser limitada a circulação ou encerrada a não ser que seja escorada. Caso seja poderá ter circulação sem restrições. T – Aberta mas, apresenta condições temporárias (suportes e/ou reparações extraordinárias) para que seja possível o escoamento do tráfego. Ou seja, está numa fase de reparação ou substituição ou está numa fase precedente a trabalhos de reparação. G - Nova estrutura ainda não aberta ao tráfego K - Encerrada a todo o tráfego P - Limitação de carga. R – Limitação de carga e outras limitações (velocidade, n.º veículos, dimensão, etc.)

Tabela A.1-2 – Inventário – Idade e tipo de serviço

Além do tipo de serviço, também é apresentado neste quadro o serviço secundário que a ponte assegura (caso seja explorada por mais que uma entidade viária), os obstáculos que existem sob a ponte (muito importante para o acesso inferior à ponte) e as restrições que a ponte apresenta ao seu serviço (velocidade, carga, etc.). Estas restrições poderão ser temporárias ou não.

INVENTÁRIO – Serviço secundário na ponte (quadro secundário)		
ITEM	DESCRIÇÃO	Comentário
<b>Entidade secundária</b>	Nome da Entidade	
	Contacto	N.º atribuído por outra entidade que explore a ponte, caso seja um serviço misto. Este é o caso de pontes rodo-ferroviárias.
	Via	
	N.º	
<b>Tipo de Serviço</b>	1 Ferroviário	
	2 Rodoviário	
	3 Metropolitano ligeiro	
	4 Pedonal - bicicletas	
	5 Misto (combinação dos anteriores)	
	6 Passagem superior num nó	
	0 Outro	
<b>N.º de Vias e Sentidos de tráfego</b>	Vias secundárias	Descreve o número de vias e os sentidos de tráfego
	Sentidos tráfego	
<b>Largura no tabuleiro</b>	Largura (m)	Este item descreve a largura utilizada pela entidade secundária e a percentagem relativa à largura total da ponte. Refere também se existem vias comuns com a entidade principal e secundária.
	(%)	
<b>Partilha de Vias e Serviços</b>	S/N	Refere se existem vias de utilização comum entre a entidade principal e a secundária. Por exemplo, linhas ferroviárias ou passeios para peões.
	Descrição	

Tabela A.1-3 - Inventário – Serviço secundário na ponte

INVENTÁRIO - Serviço e obstáculos sob a ponte (quadro secundário)			
ITEM	DESCRIÇÃO	Comentário	
<b>Tipo de Serviço / Obstáculo</b>	1 Curso de Água	Nome Rio, ribeira, etc.	
		Largura e Posicionamento Posicionamento na ponte (n.º vãos), largura.	
		Entidade É importante caso seja necessário executar trabalhos na ponte que interfiram com o Rio.	
		Navegabilidade índice que refere a necessidade ou não da ponte permitir navegação. N - não aplicável (sem curso de água); 0 - Sem navegação no curso de água. 1 - Navegação no curso de água (necessário que a ponte o permita)	
		Altura para navegação Altura definida pela entidade navegadora. Caso a ponte permita uma altura menor em algumas zonas deve ser referido e sinalizado no local.	
		Largura para navegação Largura definida pela entidade navegadora. Caso a ponte apresente uma largura menor em algumas zonas, deve ser referido e sinalizado no local.	
		2 Ferroviário Outra Concessionária, n.º vias, etc.	
		3 Rodoviário	Entidade
			N.º e tipo de Via N, IP, A, etc.
			Largura Largura do corredor utilizado (extremos) e posicionamento relativamente aos vãos e pilares da ponte.
4 Metropolitano ligeiro	Para todos os tipos de serviço deverá ser referido (quando exista) o nome da entidade que o controla e o seu posicionamento relativo sob a ponte.		
5 Pedonal - bicicletas			
6 Misto (combinação dos anteriores)			
7 Passagem superior num nó			
0 Outro			
<b>Protecção de Pilar ou encontro</b>	Item associado ao quadro das características geométricas e estruturais da ponte	1 – Se não for necessária (para a navegação ou veículos) 2 – Existente e a funcionar 3 – Existente mas deteriorado 4 – Existente mas sub dimensionado 5 – Inexistente mas reavaliar a necessidade de colocação	

Tabela A.1-4 – Inventário - Serviço e obstáculos sob a ponte

INVENTÁRIO – RESTRIÇÕES DE SERVIÇO E CIRCULAÇÃO		
ITEM	DESCRIÇÃO	Comentário
<b>Estado Actual do Serviço</b>	Índice descrito no quadro “IDADE e SERVIÇO”. Caso seja interdição completa este quadro não existe (Ponte encerrada).	
<b>Restrições de Circulação sob a ponte (interdição completa ou parcial)</b>	<p>Surgem na sequência da observação de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Possíveis deficiências na ponte</li> <li>- Para permitirem acções de manutenção</li> <li>- Factores externos (por ex. velocidades de vento excessivas, velocidades de escoamento do curso de água, etc.)</li> </ul>	
<b>EXEMPLOS DE RESTRIÇÕES</b>	<b>Interdição de Circulação temporal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nos períodos de horas de inspecção, manutenção, reparação, etc.</li> <li>• Pedidos de interdição especial, por motivos de obras sob ou sobre a ponte.</li> </ul>
	<b>Restrições de Circulação por sentido:</b>	Só é permitida a circulação de um comboio (de qualquer tipo) por sentido sobre a ponte; Não são permitidos cruzamentos de comboios pesados (conforme definição no RGS II) com comboios de qualquer tipo;
	<b>Limitação de Velocidade</b>	Ex: Os comboios pesados só podem circular a 40 km/h entre os PKs 1+760 e 5+550 da Linha do Sul, em ambos os sentidos, conforme a TVM.
	<b>Restrições de Carga (Ponte aberta, Limitada, ou fechada ao tráfego)</b>	As cargas máximas dos comboios pesados não podem ultrapassar: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1408 TON de peso total</li> <li>- 20,4 TON de peso por eixo</li> <li>- 4,08 TON de peso por metro linear (material rebocado)</li> </ul>
	<b>Restrições de Comprimento do Material Circulante</b>	O comprimento máximo do material circulante é de: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 283 m para automotoras e unidades automotoras</li> <li>- 330 m para locomotivas e material rebocado (comboios ligeiros)</li> <li>- 285 m para o material rebocado dos comboios pesados</li> </ul>
	<b>Restrições de Circulação por velocidade do Vento ou do Curso de água.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Com velocidades de vento superiores a 70 km/h, não é permitido realizar cruzamentos de comboios (de qualquer tipo) sobre a ponte</li> <li>• Com velocidades de vento superiores a 90 km/h, não é permitida a circulação de comboios sobre a ponte.</li> <li>• Velocidades de escoamento elevadas. Possível infra-escavação.</li> </ul>
	<b>Restrição ao transporte de matérias perigosas</b>	Ver D. Lei
<b>Restrições no serviço secundário</b>	Restrições definidas pela outra entidade.	É importante haver transmissão de informação entre entidades que partilham a gestão de uma ponte.
<b>Alternativa à interdição de circulação completa / parcial</b>	Transporte alternativo sub	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No caso das pontes ferroviárias é quase sempre proibitivo de acontecer pois implica o encerramento da linha ou a utilização de outro meio de ligação entre as duas margens da ponte (ex. recurso a autocarros, separação de comboios em metade para cada lado da linha). O cálculo deste custo é importantíssimo e será feito mais à frente.</li> <li>• A interdição pode ser parcial pois pode usar-se só uma via, no caso da ponte ter mais que uma via, ou no caso de ser considerado como uma ponte mas ter dois tabuleiros (ex. acesso à ponte 25 de Abril).</li> </ul>

Tabela A.1-5 - Inventário – restrições de serviço e circulação

### A.1.2.3 - CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

As características geométricas da ponte incluem as características mais gerais da ponte, tais como o vão máximo, comprimento total da ponte, largura de tabuleiro, etc. Os restantes itens que compõem este quadro referem-se a aspectos que interfiram com a circulação da ponte e com o acesso a esta (na via, nos acessos e sob esta).

INVENTÁRIO – CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS PRINCIPAIS		
Vão máximo	L (m)	Definir qual o critério de medição (entre centro de apoios, pilares, etc.). Deve ser medido pelo centro da ponte.
Comprimento total da estrutura	L (m)	Esta deve ser a dimensão da via suportada pela estrutura. Deve ser medida desde a parte de trás de cada encontro (normalmente coincidente com as juntas de dilatação). Esta medida deve ser feita pela linha central (directriz da estrada). No caso das box culvert esta medida é feita a partir da face interior.
Largura do lancil ou passeio	Le (m); Ld (m)	Para o esquerdo e para o direito.
Largura da via (lancil a lancil)	L (m)	Deve ser guardada a largura mais restritiva (a mínima).
Largura do tabuleiro	L (m)	Extremo a extremo. Há vias em que parte é em terra e a restante em tabuleiro (ver figura anexas).
Área do tabuleiro	A (m <sup>2</sup> )	Área do tabuleiro. Este valor é importante para a definição de índices e custos por m <sup>2</sup> .
Largura dos acessos		Inclui via e bermas
Zona central do tabuleiro	. Aberta . Sem nada (linha) . Galgável . Separador	Classificar se é aberta, galgável ou não. Serve para saber se dá para fazer alteração de tráfego. As que têm apenas risco contínuo não têm separador central.
Ângulo de viés	Em graus	Ângulo entre o centro de um pilar e a directriz da estrada. Numa ponte em curva este valor deve ser o valor médio dos vários ângulos.
Altura livre mínima na via principal	Altura útil (gabarits)	Medida relativa à via que circula na ponte pertencente à entidade principal.
Altura livre mínima na via / estrada	Gabarits: . Via que circula na ponte . Via que circula sob a ponte	Medida relativa às vias que circulam na ponte pertencente à entidade secundária e as que circulam sob a ponte de outras entidades. Esta medida aplica-se tanto a estradas como a vias-férreas que circulem sob a estrutura da ponte. Se for uma estrada cotar com E+alt. Se for uma via-férrea colocar F+altura. Se existirem as duas, assinalar as duas, salientando a mais crítica primeiro. Se não for nem via férrea nem estrada, colocar um N+000. Ter em atenção se a estrada sob a ponte é inclinada ou não.
Largura máxima na via principal		Medida relativa à via que circula na ponte pertencente à entidade principal.
Largura máxima na via / estrada	. Via que circula na ponte . Via que circula sob a ponte	Medida relativa às vias que circulam na ponte pertencente à entidade secundária e as que circulam sob a ponte de outras entidades.
Largura mínima sob a ponte no lado direito		Largura livre sob a ponte no lado direito de uma via que passe sob a ponte. Se for via-férrea, é medida desde o centro da linha. Se for uma estrada é medida desde o extremo da faixa. Caso existam as duas situações deve ser especificado.
Largura mínima sob a ponte no lado esquerdo		Esta medida não é adoptada em vias-férreas pois admite-se que o item anterior refere-se ao valor mínimo quer seja à direita ou à esquerda. Ver bem o que se faz em estradas ou auto-estradas.

Tabela A.1-6 - Inventário – características geométricas principais

#### **A.1.2.4 - ESTRUTURA E MATERIAL**

Neste quadro são introduzidos os dados referentes às características da estrutura e dos materiais que a compõem. Existe um item para catalogar o tipo de estrutura e para uma descrição geral desta.

O inventário estrutural divide-se em:

- Superestrutura e Tabuleiro
- Subestrutura (pilares e encontros)
- Fundações (directas e indirectas)

Em todos estes subgrupos deverá ser feita uma breve descrição e referido o tipo de material e classe de resistência. Este campo é importante para futuras verificações à capacidade estrutural da ponte.

Juntamente com esta informação devem existir cópias de vários elementos relativos à ponte. Destes destacam-se:

- Materiais e Ensaios
  - i. Certificação dos materiais – todos os certificados relativos ao tipo, classe e qualidade do material usado na construção da ponte ou aplicados posteriormente.
  - ii. Registo dos ensaios aos materiais – relatórios de ensaios não-destrutivos e testes laboratoriais usados na construção da ponte ou aplicados posteriormente.
  - iii. Testes de carga realizados – relatórios dos testes de carga efectuados à ponte.

INVENTÁRIO – ESTRUTURA E MATERIAL		
ITEM	DESCRIÇÃO	Comentário
<b>SUPERSTRUTURA E TABULEIRO</b>		
<b>Tipo de estrutura</b>	Célula de Selecção com vários tipos de estrutura.	Pôr os tipos de estrutura e incluir uma opção para Outras.
<b>Breve descrição</b>	Descrição técnica sobre o tipo da estrutura	
<b>N.º Tramos na ponte</b>	Número total de tramos na ponte.	Por exemplo: 5 (20+32+32+32+20) (m)
<b>Material</b>	Célula de Selecção com vários tipos de Material.	Pôr os tipos de materiais
<b>Classe de resistência</b>	Fe..... fu, fy, etc.	É importante para futuramente existir esta informação caso se perca o projecto de execução e os respectivos cálculos.
<b>Vãos de acesso (caso sejam diferentes)</b>		
<b>N.º vãos</b>	Número total de vãos diferentes	Por exemplo: 2 (20e+15d) (m)
<b>Material</b>	Célula de Selecção com vários tipos de Material.	Pôr os tipos de materiais
<b>Classe de resistência</b>	Fe..... fu, fy, etc.	É importante para futuramente existir esta informação caso se perca o projecto de execução e os respectivos cálculos.
<b>TABULEIRO</b>		
<b>Breve descrição</b>	Descrição técnica sobre o tipo da estrutura	
<b>Material</b>	Pode ser em betão e fazer ou não parte da superestrutura	
<b>Camada de Desgaste / Protecção</b>	Camada de Desgaste Tipo de Membrana Protecção do Tabuleiro	Informação sobre a camada de desgaste e de protecção do tabuleiro da ponte.
<b>SUBSTRUTURA</b>		
<b>Pilares</b>		
<b>Breve descrição</b>	Descrição técnica sobre o tipo da estrutura	
<b>Material</b>	Célula de Selecção com vários tipos de Material.	Pôr os tipos de materiais
<b>Classe de resistência</b>	Fe..... fu, fy, etc.	É importante para futuramente existir esta informação caso se perca o projecto de execução e os respectivos cálculos.
<b>Protecção de Pilar</b>	Caso exista deve ser referida aqui	
<b>Encontros</b>		
<b>Breve descrição</b>	Descrição técnica sobre o tipo da estrutura	
<b>Material</b>	Célula de Selecção com vários tipos de Material.	Pôr os tipos de materiais
<b>Classe de resistência</b>	Fe....., fu, fy, etc.	É importante para futuramente existir esta informação caso se perca o projecto de execução e os respectivos cálculos.
<b>Protecção de encontro</b>	Caso exista deve ser referida aqui	
<b>FUNDAÇÕES</b>		
<b>DIRECTAS</b>		
<b>Breve descrição</b>	Descrição técnica sobre o tipo da estrutura	
<b>Material</b>	Célula de Selecção com vários tipos de Material.	Pôr os tipos de materiais
<b>Classe de resistência</b>	Fe....., fu, fy, etc.	É importante para futuramente existir esta informação caso se perca o projecto de execução e os respectivos cálculos.
<b>Protecção de Fundações</b>	Caso exista deve ser referida aqui	
<b>Estacas</b>		
<b>Breve descrição</b>	Descrição técnica sobre o tipo da estrutura	
<b>Material</b>	Célula de Selecção com vários tipos de Material	Pôr os tipos de materiais
<b>Classe de resistência</b>	C30/37, ...	É importante para futuramente existir esta informação caso se perca o projecto de execução e os respectivos cálculos.
<b>Protecção de Fundações</b>	Caso exista deve ser referida aqui.	

Tabela A.1-7 - Inventário – Estrutura e Material

#### **A.1.2.5 - PROJECTO, CONSTRUÇÃO E ÍNDICES DE CAPACIDADE DE CARGA**

Neste quadro são introduzidos os dados referentes ao:

- Projecto de Execução – inclui ligação aos elementos que o compõem (Partes Escritas e Desenhadas).
- Acções de Dimensionamento (referencia ao Regulamentos e às Cargas permanentes e variáveis).
- Telas Finais (desenhos, fotografias)
- Índices de Carga de Referência - Índice de capacidade de carga da ponte aquando da sua abertura ao trânsito e de projecto (o primeiro deverá ser maior ou igual ao segundo). Fornece valores máximos de carga que a ponte tolera.
- Estimativa da vida útil. Os itens de avaliação devem avaliar o tabuleiro, a subestrutura, a super estrutura, os encontros e a ponte.

Juntamente com esta informação devem existir cópias de vários elementos relativos à ponte. Destes destacam-se:

- Projecto - Cada ponte deve ter o projecto de execução da ponte para consulta, as telas finais com o que foi realmente executado, registos das acções de manutenção efectuadas e um vídeo de passagem na ponte para facilitar a identificação da ponte ("*walkover survey*"). Deve possuir também os desenhos dos trabalhos de reparação executados.

A existência da memória de cálculos do dimensionamento da ponte é essencial para se poder avaliar o grau de segurança que a ponte apresenta, bem como a margem de carga que ela ainda poderá ter para fazer face ao aumento das sobrecargas que por ela passam (reserva de resistência à evolução de acções).

- Regulamentos que vigoravam aquando da execução do projecto e das reparações a que a ponte foi sujeita.



INVENTÁRIO - PROJECTO, CONSTRUÇÃO E ÍNDICES DE CARGA		
Projecto e Dimensionamento		
<b>Projecto de Execução</b>	Referência ao arquivo dos desenhos, partes escritas e projectistas do projecto de execução. Deve existir suporte informático e em papel (plastificado).	O programa tem um <a href="#">link</a> para consulta das partes escritas e desenhadas, devidamente carimbadas, datadas e assinadas.
<b>Ações de dimensionamento</b>	Este código serve para indicar as sobrecargas para as quais a ponte foi dimensionada. Ver quais as ações que houve em Portugal.	Verificar as ações existentes para pontes metálicas e referir as existentes e as que existiram. Ver a UIC
<b>Telas finais.</b>	Desenhos, partes escritas relevantes e fotografias do projecto inicial.	O programa tem um <a href="#">link</a> para consulta das partes escritas e desenhadas, devidamente carimbadas, datadas e assinadas.
Índices de Capacidade de Carga		
<b>Índice de operacionalidade (capacidade de carga)</b>	Este índice implica uma atribuição ou não de uma restrição automática na ponte (ver tabela de valores abaixo). 0 – Ainda sem análise	Índice de capacidade de carga da ponte. Fornece valores máximos de carga que a ponte tolera. É importante referir o método de análise e o veículo-tipo.
<b>Método de Avaliação da Capacidade de Carga.</b>	Referir o método utilizado (atalho para explicação do método). 1 – Factor de Carga 2 – Tensão admissível 3 – LRFR 4 – Teste de Carga 5 – Ainda não foi feita nenhuma análise	- Tensão máxima - LRFR - factor de carga (percentagem admissível de uma carga fixa). - Teste de Carga Se a ponte não suportar um valor mínimo definido deve ser encerrada No caso de ponte em situação temporária, os reforços não devem ser considerados para o cálculo deste índice. Este índice de carga deve ser dado em função da carga de dimensionamento do regulamento em vigor (ex. RSA, EC1).
<b>Tabela de Valores referentes ao índice de carga</b>	Esta tabela atribui as restrições que poderão ser obtidas. É obtida pela leitura do índice de capacidade de carga. Deve ter ligação com o <b>quadro das restrições de serviço</b>	Esta situação pode ocorrer quando o índice de operacionalidade é inferior às ações em vigor. Este índice é menor ou igual a 4, consoante a intensidade da limitação de carga (% da carga em vigor). 5 - Sem restrição 4 - 0.1 a 9.9% abaixo 3 - 10 a 19,9% 2 - 20 a 29,9% 1 - 30 a 39,9% 0 - > 39.9%

Tabela A.1-8 – Inventário - projecto, construção e índices de carga



## A.2 - ELEMENTOS DE UMA PONTE FERROVIÁRIA EM TRELIÇA METÁLICA

### A.2.1 - TRELIÇA METÁLICA – ESTRUTURA E MATERIAL

A treliça é um sistema reticulado de barras simples ou compostas com ligações soldadas, aparafusadas ou rebitadas, constituindo sistemas triangulares estáticos. Estes membros estão sujeitos a esforços de tracção ou compressão, podendo estar sujeitos a ambos quando solicitados por acções dinâmicas.



Figura A.2-1 Vista Geral Ponte da Portela – Lousã

No caso de uma treliça bidimensional, o seu comportamento estrutural lembra o de uma viga de alma cheia de grande altura (perfil I), em que os banzos são formados pelas longarinas ou cordas da treliça e a chapa de alma é formada por um sistema aberto reticulado de perfis - as diagonais e os montantes (Figura A.2-1).

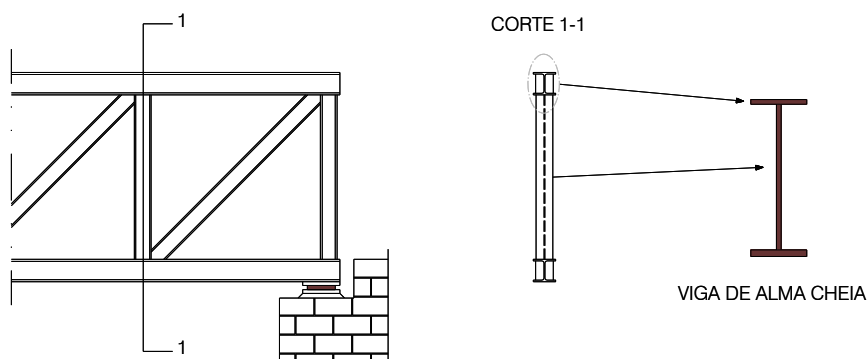


Figura A.2-1 – Esquema de funcionamento estrutural da treliça metálica

Do ponto de vista económico, este tipo de vigas é o mais indicado para vãos até 60m em pontes metálicas. Para vãos inferiores, são mais económicas as vigas de alma cheia.

## A.2. 2 - O AÇO E A EVOLUÇÃO DAS ESTRUTURAS

Nos últimos dois séculos, os elementos metálicos evoluíram consideravelmente no que diz respeito às suas características mecânicas, de ductilidade, soldabilidade. Essa evolução traduziu-se também numa alteração do tipo de material utilizado em pontes metálicas.

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS	PROPRIEDADES
<b>FERRO PURO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\sigma_{\text{elast}} = 180 \text{ MPa}</math></li> <li>- <math>\sigma_r = 300 \text{ MPa}</math></li> <li>- <math>\epsilon_{\text{rotura}} = 30\%</math> (alongamento)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Boa resistência à corrosão atmosférica</li> <li>- Muito dúctil</li> <li>- Não soldável</li> </ul>
<b>FERRO FUNDIDO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>50 &lt; \sigma_{\text{elast}} &lt; 100 \text{ MPa}</math></li> <li>- <math>100 &lt; \sigma_r &lt; 150 \text{ MPa}</math></li> <li>- <math>1\% &lt; \epsilon_{\text{rotura}} &lt; 8\%</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muito utilizado até ao séc. XIX devido à facilidade de modelação do material. Semelhança estrutural com as pontes de alvenaria.</li> <li>- Boa resistência à corrosão</li> <li>- Não soldável</li> <li>- Ricos em carbono, enxofre e fósforo, o que o torna um material frágil. Actualmente, este material é mais utilizado em mecânica e ferramentas, embora continue a ser utilizado em elementos especiais (aparelhos de apoio, etc.).</li> </ul>
<b>FERRO PUDLADO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>200 &lt; \sigma_{\text{elast}} &lt; 300 \text{ MPa}</math></li> <li>- <math>300 &lt; \sigma_r &lt; 400 \text{ MPa}</math></li> <li>- <math>5\% &lt; \epsilon_{\text{rotura}} &lt; 25\%</math></li> </ul> <p>Admitir em projecto: <math>\sigma_e = 200 \text{ MPa}</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forma primitiva do aço foi o material mais utilizado no séc. XIX na construção metálica (por exemplo a Torre Eiffel, Viaduto Gabarit). Desapareceu no início do séc. XX.</li> <li>- Boas características mecânicas. Porém, o modo de fabricação provoca pequenas inclusões propensas à formação de corrosão paralelas ao plano de laminagem que tende a “folhear” o material.</li> <li>- Por vezes rica em carbono, enxofre e fósforo, que o torna por vezes frágil e dificilmente soldável.</li> </ul>
<b>AÇO</b>	<p><b>AÇOS MACIOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>240 &lt; \sigma_{\text{elast}} &lt; 280 \text{ MPa}</math></li> <li>- <math>420 &lt; \sigma_r &lt; 450 \text{ MPa}</math></li> <li>- <math>\epsilon_{\text{rotura}} &gt; 23\%</math></li> <li>- Pouca propensão para Corrosão</li> <li>- Soldável (especial atenção aos aços mais antigos)</li> <li>- Dúcteis</li> </ul> <p>Admitir em projecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Antes de 1930: <math>\sigma_e = 220 \text{ MPa}</math></li> <li>- Depois de 1930: <math>\sigma_e = 240 \text{ MPa}</math></li> </ul> <p><b>AÇOS DUROS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\sigma_{\text{elast}} = 360 \text{ MPa}</math></li> <li>- <math>\sigma_r = 520 \text{ MPa}</math></li> <li>- <math>\epsilon_{\text{rotura}} &gt; 20\%</math></li> <li>- Pouca propensão para Corrosão</li> <li>- Soldável exceptuando alguns aços antigos mais duros e mais frágeis.</li> </ul> <p>Admitir em projecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Antes de 1960: <math>\sigma_e = 340 \text{ MPa}</math></li> <li>- Depois de 1930: <math>\sigma_e = 360 \text{ MPa}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Surgiu em meados do séc. XIX. Distingue-se do ferro pudlado pela grande uniformidade de características e pela eliminação de impurezas, especialmente o fósforo.</li> <li>- A evolução das siderurgias permitiu melhorar: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Características mecânicas</li> <li>▪ Ductilidade</li> <li>▪ Soldabilidade</li> <li>▪ Chapas com maior espessura e mesma qualidade</li> <li>▪ Diversificar os tipos de aço disponíveis.</li> </ul> </li> <li>- Existem actualmente duas grandes famílias de aço: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aço macio: surgiu em 1860, muito usado em estruturas ligeira e por vezes em pontes.</li> <li>▪ Aço duro: surgiu depois de 1930, são os mais utilizados em pontes. As suas características mecânicas têm-se mantido constantes mas a sua ductilidade e soldabilidade melhoraram muito, sobretudo após os anos 50, para fazer face ao aumento da fragilidade com a dureza.</li> </ul> </li> </ul>

Tabela A.2-1 – Evolução dos materiais usados na construção de pontes metálicas

Os aços mais usados em pontes são baixos em teor de carbono e apresentam um comportamento dúctil, essencial quando sujeito a tensões de tracção próximas do limite plástico. No entanto, quando usado em elementos com secções esbeltas (ex. aço perfilado) sujeitos a esforços de compressão, tornam-se vulneráveis a fenómenos de encurvadura se não estiverem devidamente contraventados.

As possíveis anomalias no aço não se resumem a causas estruturais. Muitas vezes surgem roturas frágeis devidas a tratamentos a quente no fabrico, soldaduras, fadiga do material ou pormenorização deficiente.

O ferro pudlado tem a vantagem de ser facilmente trabalhado e de ser em alguns casos mais resistente às acções atmosféricas que o aço macio. É um material geralmente dúctil, tenaz e resistente ao impacto. Antigamente usava-se este material combinado com o ferro fundido na construção de pontes.

### **A.2. 3 - ELEMENTOS CONSTITUINTES DA PONTE**

Os elementos constituintes da ponte podem ser divididos em quatro grupos:

- a) Tabuleiro
- b) Superestrutura (suporte ao tabuleiro)
- c) Aparelhos de apoio e Juntas de dilatação
- d) Subestrutura (pilares e encontros)
- e) Fundações

De seguida vão ser descritos resumidamente estes grupos bem como os elementos em que eles se subdividem. Será dada uma atenção maior aos elementos metálicos (tabuleiro, superestrutura) e aparelhos de apoio, já que entre eles existe uma forte correlação. Os outros grupos estão bem documentados noutros trabalhos (para obras de arte em betão, consultar a referência Brito, J. 1992).

Não serão desenvolvidos os restantes elementos que constituem uma ponte, ou a sua área de abrangência como são os taludes e zonas de transição.

### A.2.3.1 - TABULEIRO

Este grupo de elementos da ponte tem um papel importante no funcionamento da ponte pois é sobre ele que se realiza a circulação de tráfego. O tabuleiro pode-se apoiar sob a longarina superior ou inferior da treliça, sendo raro o caso em que se apoia a meio da treliça. Em alguns casos, podem existir dois tabuleiros para acomodar a circulação ferroviária e rodoviária ou pedonal (ver Figura A.2-2 ).



a) Tabuleiro Superior



b) Tabuleiro Inferior (Ribeiro, Diogo, 2004)



c) Tabuleiro duplo rodoviário e ferroviário (Santos, Nuno, 1998)

Figura A.2-2 Posicionamento do tabuleiro relativamente à treliça principal

Nas pontes reticuladas mais antigas sem laje de pavimento e sem balastro, admite-se muitas vezes que este elemento se resume ao carril e travessas.

### A.2.3.2 - SUPERSTRUTURA

É um grupo de elementos com um papel importante no desempenho estrutural da ponte pois é sobre ele que descarregam as acções que actuam sobre o tabuleiro. A rotura de um dos seus elementos é crítica para a estabilidade global da ponte. A sua configuração e estado de conservação afectam grandemente o nível de segurança estrutural da ponte. No caso das pontes reticuladas, os sistemas estruturais mais correntes são os descritos na seguinte.

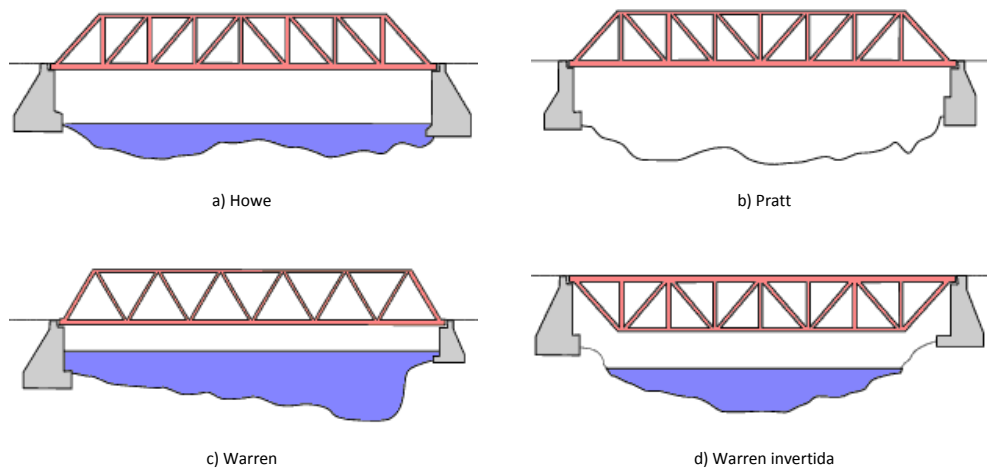


Figura A.2-3 – Superestrutura - tipos de vigas em treliça  
(fonte: <http://www.matsuo-bridge.co.jp>, 01-05-2006)

### A.2.3.3 - APOIOS E JUNTAS

Este grupo tem um papel importante no desempenho estrutural da ponte pois, os aparelhos de apoio e juntas são elementos utilizados na transmissão de esforços da superestrutura à subestrutura e na absorção de deslocamentos devidos às acções lentas (variação de temperatura) e rápidas (sismos, frenagem, etc.). O mau funcionamento pode implicar esforços suplementares não previstos nos outros elementos da ponte.

Os apoios podem dividir-se em quatro grupos. Eles são:

- (1) – Apoios fixos
- (2) – Apoios rotulados
- (3) – Apoios deslizantes ou de expansão
- (4) – Apoios rotulados, ligados e de rolamentos ligados

Os apoios fixos restringem as translações mas permitem rotações da superestrutura devidas à flexão desta. Os apoios de expansão permitem rotações e translações. Alguns apoios poderão precisar de ser dimensionados para levantamento, particularmente em vãos extremos de continuidade curtos.

Normalmente, apenas para vãos superiores a 15m é que se exigem apoios que permitam a rotação devido à flexão da viga reticulada. Nos outros casos, o apoio pode realizar por deslizamento simples entre chapas com superfície lisa. A maioria dos

apoios realiza-se em aço, neoprene, teflon, bronze ou numa combinação destes materiais.

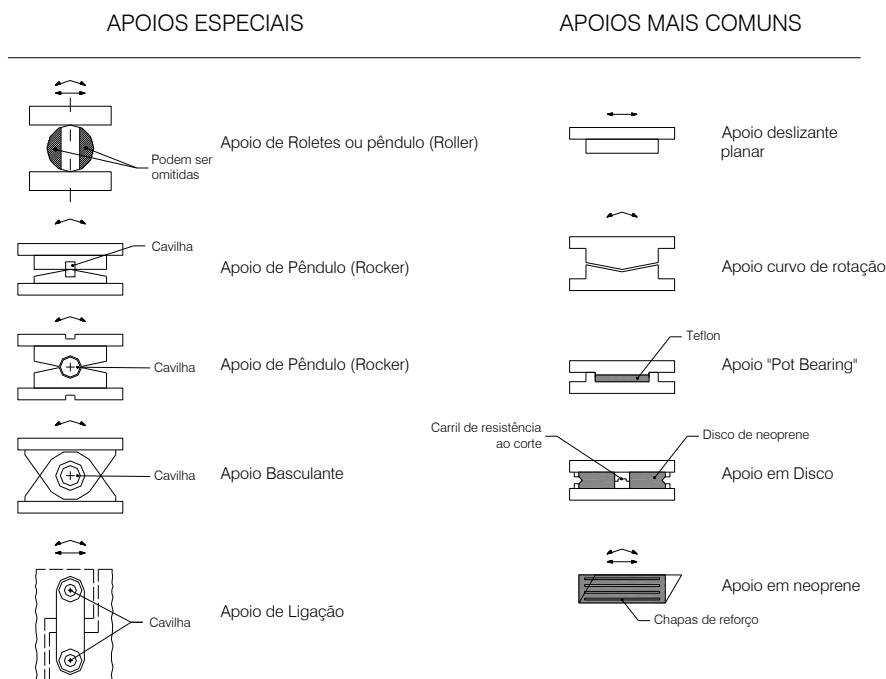


Figura A.2-4 - Tipos de aparelhos de apoio

A função de uma junta numa via ferroviária é de permitir os movimentos da superestrutura, salvaguardando a continuidade do carril e a protecção dos apoios da entrada de água ou outros detritos. A continuidade do carril é normalmente assegurada através de um aparelho de dilatação da via.



Figura A.2-5 - Junta de dilatação de carril (Fonte: Ribeiro, Diogo, 2004)

A SNCF (Caminhos de ferro franceses) definiu que para comprimentos inferiores a 60 metros não são necessárias juntas na ponte. Como as pontes em treliça não tem normalmente vãos superiores a 60 metros, não será considerado este elemento neste tipo de ponte.



#### **A.2.3.4 - SUBSTRUTURA E FUNDAÇÕES**

Dada a antiguidade de uma grande parte das pontes em treliça metálica, a maioria dos pilares, encontros e fundações são em alvenaria. Só mais recentemente se tem realizado estes elementos em betão armado.

##### **iii. Proposta de elementos para as pontes em treliça metálica ferroviária**

A divisão de elementos é uma etapa muito importante na preparação de um sistema de conservação de gestão de pontes já que após esta fase se irão desenvolver todas as estratégias de conservação e modelos de previsão da deterioração para cada elemento. Estes elementos devem ser separados em função do tipo de material, tipo de comportamento estrutural, tipo de solicitações a que está sujeito e processo de deterioração.

Na tabela seguinte apresenta-se uma proposta de elementos para uma ponte em treliça metálica com via ferroviária. Os componentes descritos anteriormente devem dividir-se num número de elementos que melhor traduzam o nível de conservação da ponte.

TABULEIRO			
Elemento	Código	Unid.	Descrição
VIA FÉRREA	T01	m	- Carril – pode ser contínuo ou com junta de carril, sendo que o conforto para os passageiros melhora em perfis contínuos. - Fixação e palmilhas de borracha entre o carril e as travessas - Travessas de madeira ou betão - Balastro (em tabuleiros abertos é inexistente)- Melhora a distribuição de cargas e o conforto para os passageiros.
ESTRUTURA DO TABULEIRO	T02	m <sup>2</sup>	Existem diversas opções estruturais: - Laje em betão armado - Grelha metálica com/sem chapas de pavimento. - Longarinas sob os carris; dão suporte às travessas e apoiam-se em carlingas transversais que descarregam na superestrutura. - Inexistente – admite-se que a solução anterior se insere na superestrutura.
LIGAÇÕES PRINCIPAIS	T03	un.	- Longarinas / Carlingas
PASSEIOS	T04	un.	- Zona de Circulação – em betão armado, em chapa de aço ou madeira. - Lancil e guarda de protecção – lancil em betão e guarda em aço. - Guarda-corpos – normalmente em aço ou alumínio. Protecção de pessoas (circulação pedonal ou de pessoal em inspecção ou conservação)
GUARDAS	T05	m	- Normalmente em aço ou alumínio
INFRA-ESTRUTURAS INTERNAS	T06	un.	- Sistema de Drenagem do tabuleiro - Sistema de Alimentação eléctrica (catenária)
INFRA-ESTRUTURAS EXTERNAS	T07	un.	Infra-estruturas de entidades externas: electricidade, telecomunicações, água, gás, etc. Podem estar suspensas do tabuleiro ou inseridas em negativos nos passeios.

Tabela A.2-2 – Elementos do tabuleiro

SUPERSTRUTURA			
Elemento	Código	Unid.	Descrição
LONGARINA INFERIOR	SP01	m	- Divisão entre longarina superior e inferior. Deve ser dada maior atenção à longarina tracionada (membro crítico de fractura).
TRELIÇA (longarina superior, diagonais e montantes)	SP02	m	- Banzo comprimido, diagonais e montantes entre a longarina superior e inferior. - Identificação das diagonais e montantes tracionados (elemento crítico de fractura). A rotura de um destes elementos deve merecer atenção imediata, embora a sua importância não seja tão grande como a da longarina inferior.
CARLINGAS	SP03	m	- Elemento transversal de suporte ao tabuleiro. A sua função é transmitir as acções do tabuleiro para a treliça principal.
PÓRTICO DE ENTRADA	SP04	m	- pórtico de entrada da ponte. Normalmente mais rígido que os restantes. Identificação das zonas dos elementos em tracção.
CONTRAVENTAMENTO S SUPERIOR E INFERIOR	SP05	m	- Função de solidarização de todos os elementos da superestrutura. - Elementos de travamento e de resistência às acções horizontais (sísmicas, vento, - A rotura de um destes elementos normalmente não leva à rotura da estrutura, embora mereça atenção imediata. - Carlinga / Treliça principal
LIGAÇÕES PRINCIPAIS	SP06	un.	- Emenda de Banzos - Longarina / Montante
LIGAÇÕES SECUNDÁRIAS	SP07	un.	- Diagonal / Montante - Elementos Secundários / Principais - Elementos Secundários / Secundários

Tabela A.2-3 – Elementos da superestrutura

APARELHOS DE APOIO				
Elemento	Código	Unid.	Descrição	
APARELHOS DE APOIO	A01	un.	CHAPA DE BASE E CHUMBADOURO	- Normalmente em aço, fixo ao betão (alvenaria) por chumbadouros.
			APOIO DE ROLETES	- Em aço, permitem translações da superestrutura e rotação com o auxílio de uma cavilha ou de um só rolete.
			APOIO FIXO	- Impedem o movimento longitudinal do apoio mas devem permitir rotação nessa direcção (deformação da viga principal).
			APOIO DE PÊNDULO	- Utilizado normalmente no caso de grandes acções verticais e deslocamentos da superestrutura bem definidos.
			APOIO DE DESLIZAMENTO	- Apoios mais recentes - A utilização do teflon, material sólido com o mais baixo coeficiente de atrito, permite resolver o problema de resistência ao deslizamento. Normalmente, este material é utilizado nos apoios combinado com chapas de aço de carbono ou inoxidável e neoprene. - Apoios mais Antigos –feitos em aço baseando-se no deslizamento de uma chapa sobre a outra. Surgiram alguns problemas de atrito, com conseqüente transmissão de esforços. Para grandes vãos há que acautelar a flexão das vigas.
			APOIO “POT-BEARING”	- Apoios muito caros, com grande capacidade de carga. Executados em aço ou alumínio, teflon e neoprene. Dividem-se em: - Tipo 1: permite rotações em todas as direcções, mas não permite - Tipo 2: permite rotações em todas as direcções, deslocamentos numa direcção (apoio guiado). Tipo 3: permite rotações e deslocamentos em todas as direcções (apoio não guiado).
APOIO EM NEOPRENE	- Apoios executados em aço e neoprene (neoprene ou neoprene cintado). . Apoios de dilatação: permitem movimentos na vertical e horizontal, por . Apoios fixos: impede movimentos horizontais através da utilização de cavilhas e chumbadouros fixos aos pilares ou encontros.			

Tabela A.2-4 – Elementos - Aparelhos de apoio

SUBSTRUTURA E FUNDAÇÕES			
Elemento	Código	Unid.	Descrição
CAPITEL	SB01	un.	Lintel de encahecimento do sobre o pilar.
PILARES	SB02	un.	Elementos normalmente em alvenaria ou betão
ENCONTROS	SB03	UN.	Elementos normalmente em alvenaria ou betão
ENROCAMENTO	F01	un.	Elemento de protecção à erosão e infra-escavação de fundações
FUNDAÇÕES	F02	un.	Sapatas de fundação
ESTACAS	F03	un.	Estacas e outros elementos

Tabela A.2-5 – Elementos da substrutura e fundações



## **A.3 - PRINCIPAIS ANOMALIAS E SUAS CAUSAS EM PONTES METÁLICAS**

### **A.3.1 - INTRODUÇÃO**

A experiência tem mostrado que, entre as principais causas de anomalias nas pontes metálicas reticuladas, destacam-se a utilização de técnicas de inspeção e diagnóstico desajustadas, definição de nós e ligações complexas, processos de fabrico e sistemas de protecção dos elementos metálicos deficientes, etc. Ou seja, factores que intervêm ao longo de toda a vida da ponte, desde a sua concepção até à substituição.

A análise das anomalias será mais detalhada para os elementos metálicos (tabuleiro, superestrutura) e aparelhos de apoio, já que entre eles existe uma forte correlação. Os outros grupos estão bem documentados noutros trabalhos (Brito, J. 1992).

Para além da descrição das anomalias vão ser apresentados neste capítulo as principais causas do seu aparecimento (agentes patológicos).

Num estudo realizado no âmbito de um programa financiado pela Comissão Europeia, (Sustainable Bridges, 2004), os principais gestores ferroviários europeus definiram como mais frequentes as seguintes anomalias neste tipo de pontes:

- Corrosão, delaminação (mencionado por 13 em 17 gestores ferroviários)
- Fissuração por fadiga do material (mencionado por 11 em 17)
- Defeitos na protecção dos elementos, nomeadamente na pintura (4 em 17)
- Fractura frágil dos elementos (2 em 17)

Além destas anomalias mencionadas, podem-se referir também:

- Encurvadura e enfunamento
- Distorção

Ao nível das ligações aparafusadas, as principais anomalias que surgem são:

- Corrosão
- Fractura
- Desaperto e escorregamento

### A.3.2 - CORROSÃO

A anomalia mais frequente nos elementos metálicos é a corrosão. Sobre a acção de agentes atmosféricos ou de reagentes químicos, o aço corrói-se, isto é, volta ao seu estado inicial apresentando-se sobre a forma de óxidos, sulfitos, carbonatos, ou sobre outra forma estável em equilíbrio com o meio ambiente.

Se colocarmos um aço normal sem protecção especial ao ar, ele cobre-se com uma camada de óxidos à qual damos o nome de ferrugem. Esta apresenta normalmente um volume três vezes superior ao do aço normal, podendo chegar a seis vezes esse volume, no caso de renovação ilimitada de oxigénio.

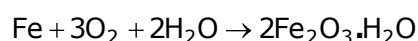


Figura A.3-1 - Corrosão numa ponte metálica em treliça (Bridge Inspector's Reference Manual, 2006)

#### A.3.2.1 - MECANISMO DE CORROSÃO - PROCESSO QUÍMICO

A corrosão do aço manifesta-se predominantemente sobre a forma da corrosão dita em solução, ou corrosão húmida, correspondente a um fenómeno de natureza electroquímica que ocorre por fases, sobre a presença de água e oxigénio.

O ataque inicial ocorre nas zonas do ânodo (-) da superfície, em que os iões de ferro entram em solução. Os electrões libertam-se do ânodo e movem-se através da estrutura do metal para a zona catódica (+) da superfície, onde se combinam com o oxigénio e a água para formar iões de hidrogénio. Estes reagem com iões ferrosos de carga positiva que permanecem no ânodo, produzindo hidróxidos de ferro, que em contacto com o ar oxidam, produzindo óxidos de ferro (ferrugem). Estas reacções todas traduzem-se pela seguinte equação:



(Ferro) + (Oxigénio) + (Água) = Óxido de Ferro Hidratado (Ferrugem)

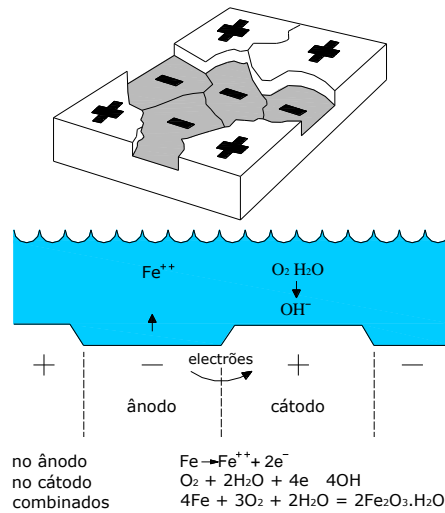


Figura A.3-2 - Processo químico da corrosão

Depois de algum tempo, os efeitos de polarização, tais como o crescimento dos produtos da reacção química da corrosão na superfície, provocam um abrandamento do processo corrosivo, através da formação de uma camada de ferrugem que funciona como barreira à passagem do oxigénio e de outros produtos contaminantes. O fim do ciclo de corrosão termina quando esta camada se solta da superfície de metal (perda de secção) e inicia-se novo ciclo de corrosão. Este processo desenrola-se ao longo do tempo, podendo a perda de secção ser elevada ao longo de toda a superfície (corrosão generalizada).



Início de corrosão em aço normal – cor amarela alaranjada



Aço patinado sem protecção  
Película oxidante com cor preta

Figura A.3-3 – Corrosão em elementos metálicos (Bridge Inspector's Reference Manual, 2006)

### **A.3.2.2 - TIPOS DE CORROSÃO**

A corrosão desenvolve-se de diferentes formas, sendo as mais comuns:

- |                   |                             |                |
|-------------------|-----------------------------|----------------|
| 1. Uniforme       | 4. Em ranhuras / Canto vivo | 7. Por frestas |
| 2. Por lixiviação | 5. Sob tensão               | 8. Galvânica   |
| 3. Erosão         | 6. Por pontos               |                |

### **A.3.2.3 - CAUSAS DE FORMAÇÃO DE CORROSÃO EM PONTES METÁLICAS**

Existem vários factores que aceleram o aparecimento da corrosão. Alguns são devidos ao tipo de material e interacção com o ambiente. Outros dependem da acção do homem, desde a concepção até à manutenção que é feita às estruturas.

#### **a. Erros de Projecto e Construção**

Os erros de projecto são uma das causas de aparecimento de corrosão nas pontes metálicas. A falta de rigor no detalhe de estruturas metálicas potencia o ataque dos agentes patogénicos responsáveis pelo aparecimento de corrosão no aço. Alguns exemplos são:

- Ranhuras, cantos vivos, que contribuem para o desgaste da pintura de protecção.
- Pontos de retenção de água (perfis em U sem orifícios de escoamento de água).
- Materiais em contacto de origem diferente:
  - Contacto aço-betão em passeios ou na ligação viga-laje de tabuleiro.
  - Contacto alvenaria - estrutura com abóbadas
  - Ligações: contacto parafusos chapa do elemento e metal de base e metal de adição numa ligação soldada.
- Secções rebitadas com múltiplas peças ligadas por rebites (pontes mais antigas: a água infiltra-se nos interstícios das chapas. A expansão das chapas provocadas pela corrosão provoca deformações locais).
- Ligações com espessuras de chapas reduzidas.



- Ligações mal concebidas, com excentricidades e tensões residuais e espessuras de chapas reduzidas.
- Sistema de protecção (pintura) mal definido para a exposição ambiental a que a ponte estará sujeita.

#### **b. Qualidade do Material**

- Heterogeneidade do material, entre as diversas camadas de ferrite e os óxidos no ferro pudlado. Zonas do aço com calamina (Calgaro, 1997).

- Tratamentos térmicos, mecânicos e de superfície no fabrico do material mal executados

#### **c. Degradação microbiana**

Esta forma de corrosão deve-se à presença de bactérias que produzem ácido sulfúrico ou hidrogénio sulfurado que, combinados com iões de ferro ( $Fe^{2+}$ ) formam enxofre insolúveis. Como exemplos temos a vegetação, os excrementos de animais e matérias perigosas transportadas (fertilizantes, etc.) ou a acumulação de detritos por falta de limpeza.



Figura A.3-4 – Degradação por deposição de detritos e ataque microbiano (Sustainable bridges, 2004)

#### **d. Meio envolvente**

Os factores que potenciam a corrosão dependem também do meio envolvente ao material. Deste destacam-se:

- Período de exposição da superfície à humidade – chuvas, condensação, etc. Em zonas secas a formação de corrosão no aço é mínima.

- Poluição atmosférica – zonas urbanas e industriais. Os sulfatos e os cloretos propiciam a formação de corrosão no aço porque reagem com a superfície do aço formando sais de ferro solúveis muito corrosivos.
- Ambiente marítimo – São ambientes ricos em cloretos (sais). Tanto a água doce como a salgada provocam a corrosão. No entanto, a água salgada tem maior condutividade eléctrica o que aumenta a velocidade da corrosão. No reino Unido, admite-se uma faixa de 2 km ao longo da costa como zona de ambiente marítimo.
- Temperatura – tem um papel importante na formação de corrosão, através da aceleração do processo químico de oxidação. Um aumento de 10°C duplica a velocidade de reacção.

#### **e. Corrente Eléctrica**

A corrosão por influência de correntes eléctricas vagabundas sobre as peças metálicas situadas na proximidade de vias electrificadas, ou em vias-férreas alimentadas por corrente contínua, podem provocar acções electrolíticas que derivam em corrosão das peças metálicas. Este problema pode surgir no caso de os carris funcionarem como circuito eléctrico de retorno e a corrente eléctrica abandoná-los e circular parcialmente pelos elementos metálicos da ponte.

De referir o exemplo verificado na electrificação da linha de transporte pública do tabuleiro superior Ponte Luiz I no Porto (em 1903), na qual se admitiu a passagem de corrente eléctrica na parte metálica da ponte.

#### **f. Falta de manutenção**

Os elementos sujeitos a esforços de tracção são mais susceptíveis de devido à microfendilhação que se forma nestes elementos críticos (Santos, Nuno, 1998).

- Falta de manutenção do sistema de protecção dos elementos (pinturas) e do sistema de drenagem, limpeza de detritos, etc.

### A.3.3 - FADIGA

A fadiga consiste na rotura progressiva de elementos sujeitos a ciclos repetidos (acções cíclicas) de tensão ou deformação, mesmo que sujeitos a tensões baixas.

Os primeiros estudos relacionados com o fenómeno da fadiga devem-se a Wöhler em 1850 e surgiram devido à necessidade explicar a rotura de veios do rodado de material circulante dos caminhos-de-ferro. Os veios fracturavam ao fim de alguns quilómetros de serviço sob condições de carregamento normal. O que mais intrigava na altura era o facto de o material ter revelado em ensaios de tracção um comportamento dúctil elevado (antes e depois da fractura), ocorrendo a rotura sob condições de carregamento normal não apresentando sinais de deformação elevados.

O fenómeno da fadiga é das maiores causas de formação de fissuras em pontes metálicas. As zonas de mudança de secção ou próximas de um entalhe aumentam a probabilidade deste fenómeno ocorrer (Branco, C. 1999).



Figura A.3-5 – Fissura numa ligação rebitada (Bridge Inspector's Reference Manual, 2006)

#### A.3.3.1 - MECANISMO DE FADIGA

O mecanismo da fadiga desenvolve-se em duas fases, antes da rotura final:

1. Nucleação ou início da formação da fissura por fadiga – verifica-se quase sempre na superfície do corpo, visto que é aqui que a concentração de tensões é máxima. Por outro lado, os cristais de superfície têm menos apoio mutuo que os cristais do interior, e estão mais sujeitos à ocorrência de deformação plástica sob tensão; Também, é na superfície que se faz mais sentir o efeito do meio ambiente (por exemplo, corrosão).
2. Propagação da fissura – uma vez iniciada a propagação da fissura ela desenvolve-se em três fases (ver Figura A.3-6). A fase I consiste num

crescimento a 45° relativamente à direcção da solicitação, o que corresponde à propagação do efeito inicial em planos sujeitos a valores elevados de tensão de corte. Na fase II a fissura tende a propagar-se perpendicularmente à solicitação externa, comportamento provavelmente governado pelo valor da tensão normal. A transição I-II é geralmente atribuída à redução do quociente tensão de corte / tensão normal na vizinhança da extremidade da fissura. A velocidade de propagação na fase II é função da amplitude do factor intensidade de tensão. A fase II apresenta normalmente estrias perpendiculares à direcção de propagação, especialmente em materiais dúcteis.

3. Rotura final – Atingido um valor crítico de comprimento da fissura, dá-se a rotura instável final (Branco, C. 1999).

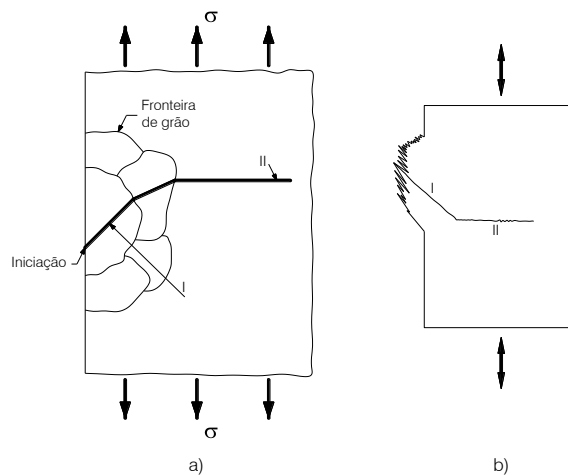


Figura A.3-6 - a) Iniciação e fases I e II do crescimento de uma fenda de fadiga. b) Representação esquemática de intrusões e extrusões. (Branco, C. 1999)

Qualquer uma destas fases pode ser relevante na avaliação da estrutura, dependendo do tipo de estrutura e das cargas aplicadas. No caso das pontes metálicas (especialmente nas de soldaduras de penetração parcial ou de ângulo) o período de formação da fissura é quase nulo, podendo ocorrer logo na primeira solicitação (Calgaro, J. 1997).

Se os pormenores mais susceptíveis de sofrerem a formação destas fendas estiverem sujeitos a grande número de ciclos carga – descarga, mas a variação de tensões pequenas, este período de formação é maior. Por outro lado, quando as variações de tensões são elevadas e se está na presença de fissuras ou entalhes, este tempo de formação da fissura é mais precoce (Xanthakos, Petros P. 1996).

### A.3.3.2 - CAUSAS DA FORMAÇÃO DE FISSURAS POR FADIGA

#### a. Erros de Projecto

A maior parte das pontes metálicas ferroviárias existentes foram executadas aquando da construção da linha. Foram executadas com ferro pudlado, aço maço ou ferro fundido com ligações rebitadas. Neste tipo de pontes o efeito da fadiga representa um papel muito importante um vez que são estruturas antigas (algumas centenárias) que já foram sujeitas a um grande número de ciclos de carga. Nas pontes mais recentes (depois de 1960) verifica-se um melhor comportamento à fadiga, fruto da utilização de aços mais modernos, melhores soldaduras, utilização de parafusos de alta resistência, além de já se ter em conta a fadiga na concepção do projecto. Em pontes em treliça metálica, é importante dar um destaque especial na verificação da fadiga. Quando a carga é aplicada axialmente, verifica-se que o valor da tensão limite de fadiga é menor do que o valor determinado em flexão. (inexistência de gradiente de tensões na secção crítica, no caso da solicitação axial pois toda a secção está em tensão máxima de (Branco, C. 1999).

Além destas razões, existem pormenores construtivos que potenciam a formação de fissuras por fadiga, tais como:

- Pormenorização deficiente
- Ligações fracas entre elementos principais e secundários (por exemplo, ausência de chapas de continuidade nas ligações das longarinas às vigas principais) e espessuras de chapa reduzidas.
- Ligações rígidas (muitas vezes provocada por corrosão).
- Variações bruscas de secção - descontinuidades na geometria de peças (entalhes, furos, roscas, etc.) provocam um aumento da tensão instalada.
- Ligações soldadas - Outros exemplos do efeito de concentração de tensões são os criados por descontinuidades geométricas nos cordões de soldadura. No pé do cordão de soldadura, a tensão máxima pode chegar a ser três vezes superior à tensão nominal, o que facilita a deformação plástica nesta zona. Se houver defeito na soldadura, a concentração de tensões ainda será maior reduzindo a tensão nominal, provocando a plastificação e facilitando o início do mecanismo de fadiga.

- Esforços secundários (excentricidades, deslocamentos).
- Frequência de circulação e cargas por eixo superior ao previsto

**b. Construção**

- Ligações rebitadas deficientes, nomeadamente no processo de rebitagem. As fissuras por fadiga iniciam-se quase sempre nos furos dos rebites, em forma de estrela sobre a cabeça deste. Muitas das fissuras são fruto de má execução do furo ou da colocação do rebite (Santos, Nuno 1998).
- Defeitos de convergência de barras em treliças (excentricidades), provocando tensões residuais nos membros.
- Acabamento da superfície – a rugosidade provoca concentração de tensões, alterando as propriedades físicas da camada superficial. Se essas tensões forem de tracção diminuem a resistência à fadiga (Branco, C. 1999).

**c. Manutenção**

- Falta de manutenção leva ao aparecimento de corrosão que associadas aos ciclos de tensões favorecem a formação de fissuras.
- As reparações mal executadas também são umas das causas de formação de fissuras das quais se destacam:
  - Soldaduras que provocam esforços de encastramento.
  - Escolha de solda deficiente, em função do material de base.
  - Utilização de parafusos de alta resistência em ligações para rebites.

**d. Corrosão**

Os ambientes corrosivos aumentam a velocidade de propagação da fissura. Isto deve-se ao aumento da fragilização (endurecimento ou amaciamento) devido ao hidrogénio proveniente da reacção catódica na corrosão ou dos gases presentes na atmosfera. (Branco, C. 1999).

### **A.3. 4 - ROTURA FRÁGIL**

Sob determinadas condições, o aço comporta-se como um material frágil atingido a tensão de rotura sem antes apresentar deformações a tensão constante. As características principais da rotura frágil são as seguintes:

- A rotura ocorre de forma brusca, e com resultados catastróficos;
- As tensões obtidas por métodos usuais de cálculo nas zonas de rotura não são elevadas;
- A rotura começa em zonas de concentração de tensões;
- Geralmente ocorre quando sujeita temperaturas baixas ou negativas;
- As estruturas soldadas são mais sensíveis à rotura frágil;
- O aspecto da superfície de rotura é granular com linhas em forma de espiga, cujos vértices apontam para o começo da rotura;

### **A.3. 5 - DISTORÇÃO**

Os fenómenos de distorção surgem normalmente em elementos sujeitos:

- Impactos de veículos em elementos na via ou sob a via.
- Esforços mais elevados do que os que estavam previstos
- Esforços devidos a extensões térmicas restringidas por defeitos em aparelhos de apoio e juntas de dilatação.
- Redistribuição de esforços devido a plastificação ou cedência de elementos adjacentes.
- Deterioração do próprio elemento (corrosão).
- Fogo



Figura A.3-7 - Impacto de veículo no tabuleiro (Bridge Inspector's Reference Manual, 2006)



Figura A.3-8 - Distorção por exposição a fogo (Bridge Inspector's Reference Manual, 2006)

### **A.3. 6 - VIBRAÇÕES E ESFORÇOS SECUNDÁRIOS NAS LIGAÇÕES**

A via funciona como um sistema mecânico que induz efeitos próprios na estrutura. Quando os carris são interrompidos sobre a ponte, quer a via seja balastrada ou não, a passagem do comboio provoca choques que perturbam as ligações rebitadas das pontes, conduzindo a uma degradação acelerada da obra de arte.

Inversamente, quando é instalada uma via balastrada com carris soldados uns aos outros, surgem forças longitudinais devidas às variações de temperatura e a deslocamentos diferentes entre a via e o tabuleiro. Essas forças dependem do comprimento do tabuleiro, da rigidez das ligações horizontais entre a via e a estrutura e entre a via e a plataforma, formando-se esforços elevados nos pontos fixos da estrutura (aparelhos de apoio fixos, pilares, encontros).

### **A.3. 7 - ANOMALIAS EM APARELHOS DE APOIO**

Os aparelhos de apoio são elementos utilizados na transmissão de esforços da superestrutura à subestrutura e na absorção de deslocamentos devidos às acções lentas (variação de temperatura) e rápidas (sismos, frenagem, etc.). No dimensionamento das estruturas admite-se que eles vão permitir à estrutura “libertar” os esforços secundários decorrentes das acções referidas anteriormente.

A falta de manutenção dos aparelhos de apoio (principalmente os móveis), que passa essencialmente pela lubrificação, resulta na introdução de esforços na estrutura, por restrição de movimentos (Santos, Nuno, 1998).



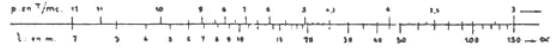
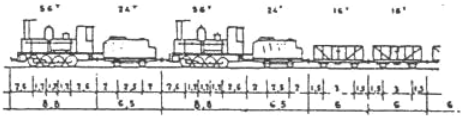
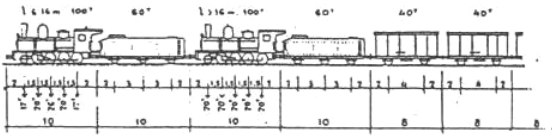
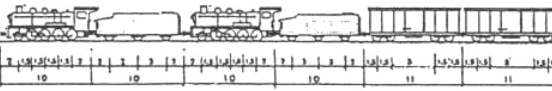
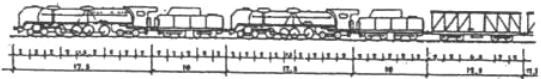
A desagregação das alvenarias dos apoios é também uma das causas de deformação e de assentamentos diferenciais que provocam esforços na ponte.

### **A.3. 8 - EVOLUÇÃO DAS SOBRECARGAS FERROVIÁRIAS**

Uma das principais causas das anomalias neste tipo de pontes – as sobrecargas ferroviárias. Não se trata de uma anomalia específica de uma ponte mas é uma das principais causas de elas ocorrerem em pontes mais antigas.

O regulamento mais antigo que se conhece em França remonta ao século XIX (26 de Fevereiro de 1858), no qual estava definido que uma ponte ferroviária deveria ser dimensionada para resistir a “uma carga distribuída de 5 ton./m<sup>2</sup> se o seu vão for inferior a 20m e a uma carga de 4 ton./m<sup>2</sup> se o vão for superior a 20m” (Calgaro, J. 1997). Em pouco mais de um século assistiu-se a um aumento do esquema de cargas, sendo actualmente composto por acções distribuídas superiores a 80 kN/m<sup>2</sup> e cargas de 250 kN/eixo. À medida que os veículos ferroviários iam evoluindo, tornando-se mais pesados e mais rápidos, era necessário rever os regulamentos e normas em vigor para acompanhar essa evolução. Na Figura A.3-9 é ilustrada esta evolução de cargas de dimensionamento.

Ficou demonstrado em estudos de tráfego que o dano provocado pela fadiga em pontes antigas provém na sua maioria (90%) do tráfego circulante posterior a 1945, por aumento da velocidade de circulação e do aumento das cargas por eixo. Estes valores produzem amplitudes de tensão próxima do limite de fadiga ( $5 \times 10^6$  ciclos) que provocam a formação de fissuras (Calgaro, 1997).

TEXTES	MOMENT(MNm) Pour une voie	
	L = 10 m	L = 50 m
Instruction n° 10 du 26 Février 1858 $p = 50 \text{ kN/m}$ pour $L \leq 20 \text{ m}$ ; $p = 40 \text{ kN/m}$ pour $L > 20 \text{ m}$	0,625	12,50
Circulaire n° 15 du 9 Juillet 1877 	0,912	12,19
Circulaire du 29 Août 1891 	1,062	14,61
Circulaire série A n°1 du 8 Janvier 1915 	1,695	25,30
Circulaire série A n° 3 du 10 Mai 1927 Toutes lignes : essieux de 250 kN + majoration dynamique 	2,350	30,85
Circulaire série A n° 27 du 14 Octobre 1944 Lignes à grand trafic : essieux de 250 kN + majoration dynamique Autres lignes : essieux de 200 kN + majoration dynamique	2,650 2,09	43,15 33,85
Circulaire n° 65 du 19 Août 1960 Lignes à grand trafic : essieux de 250 kN + majoration dynamique + pondération Autres lignes : essieux de 200 kN + majoration dynamique + pondération 	3,18 2,51	51,78 40,62

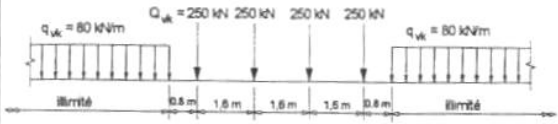
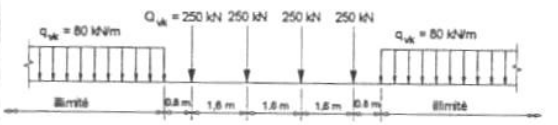
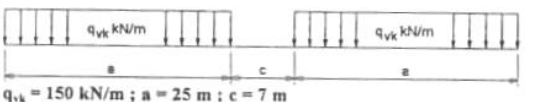
TEXTES	MOMENT(MNm) Pour une voie	
	L = 10 m	L = 50 m
Circulaire SNCF du 17 Octobre 1979 (Schéma UIC 71) (Niveau ELS - majoration dynamique + pondération) 	2,679	34,83
Livret 2.01 SNCF - Février 1995 (Eurocode 1 - Partie 3 « Charges sur les ponts dues au trafic ») Schéma UIC 71 	2,878	37,41
Schéma SW/2  $q_{kk} = 150 \text{ kN/m}$ ; $a = 25 \text{ m}$ ; $c = 7 \text{ m}$	2,456	46,08

Figura A.3-9 - Evolução das acções sobre as pontes ferroviárias. (Calgaro, J. 1997)

## **A.4 - PREVENÇÃO EM FASE DE PROJECTO E CONSTRUÇÃO – PONTE METÁLICA**

### **A.4. 1 - INTRODUÇÃO**

Para que se obtenham estruturas metálicas duradouras deve-se dar atenção na fase de projecto ao desenho de pormenores que minimizem o desenvolvimento de corrosão e formação de fendas por fadiga. Muitos dos problemas que surgem nas pontes metálicas poderão ser diminuídos se forem tomadas determinados cuidados e cumpridos vários requisitos em fase de projecto.

Veja-se o exemplo da corrosão, sendo a sua causa um problema de origem química e de falta de manutenção. Relativamente ao meio que envolve a ponte (precipitação, humidade, poluição, etc.) e que potencia a reacção química é difícil, se não impossível, controlar e eliminar o seu efeito. Pode-se sim diminuir o seu efeito através da adopção de pormenores construtivos que evitem a retenção de água e que facilitem as acções de manutenção (pintura e limpeza de detritos).

Nos próximos pontos vão ser descritas as acções intervenientes num projecto de pontes, dada a sua relevância na pormenorização de alguns elementos e apresentado factores a ter em conta num projecto de durabilidade, além de pormenores construtivos para este tipo de pontes.

### **A.4. 2 - ACÇÕES E DEFORMAÇÕES APLICADOS A UMA PONTE**

As acções devidas à circulação ferroviária têm aumentado, pelo que o conhecimento das acções de dimensionamento originais torna-se importantíssimo para uma correcta avaliação da margem de segurança que a ponte ainda retém, particularmente em pontes antigas.

De seguida vão ser descritas as acções e deformações a que uma ponte está normalmente sujeita e que obviamente influem na pormenorização e dimensionamento dos seus pormenores construtivos.

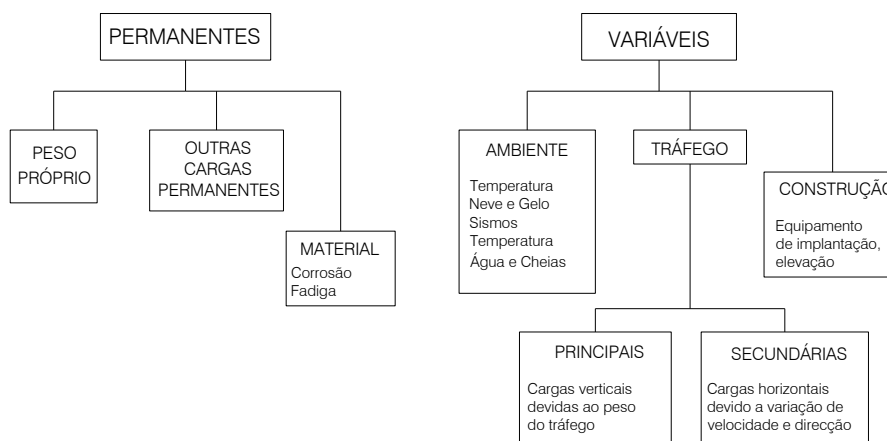


Figura A.4-1 - Acções aplicadas numa ponte

#### A.4.2.1 - ACÇÕES PERMANENTES

Os efeitos a ter em conta em pontes ferroviárias não se resumem, como é evidente, aos esforços provocados pela circulação dos comboios (acções variáveis). A sua circulação obriga à existência de uma via-férrea que permita a circulação de comboios em segurança, velocidade e conforto para os passageiros. Exceptuando as pontes metálicas mais antigas, a maior parte das pontes ferroviárias actuais possui uma via com uma camada de balastro de espessura variável (25 a 45 cm). O balastro, favorece a repartição das cargas transmitidas pelos eixos dos comboios, amortece os choques entre elementos e facilita as operações de manutenção na via. Porém, representa uma acção permanente muito importante no dimensionamento de qualquer ponte (40 a 70 kN / m de via), sendo da mesma ordem de grandeza das acções devidas à circulação de um comboio. Esta carga devida ao balastro tem tendência a aumentar com as acções de manutenção na linha, por aumento da espessura da camada na substituição do material.

#### A.4.2.2 - ACÇÕES ESPECÍFICAS DE PONTES FERROVIÁRIAS

##### iv. Sobrecargas

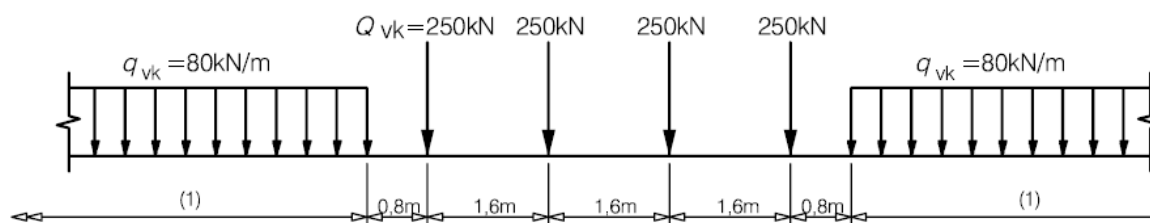
A circulação de comboios nas pontes é traduzida através de acções verticais às quais a ponte deve resistir sem se deformar excessivamente. À medida que os veículos ferroviários evoluíram, tornou-se necessário rever regulamentos e normas em vigor para acompanhar essa evolução, como vimos se viu no anexo anterior, nas quais é

destacada a importância que a evolução das sobrecargas têm no desenvolvimento de anomalias neste tipo de pontes mais antigas.

Os esquemas de carga são constituídos por uma carga linear ou por uma sucessão de forças pontuais que simulam as cargas por eixo. Em Portugal, como em muitos países, o esquema adoptado é da UIC 71, que combina estes dois tipos de cargas. O Eurocódigo 1 adopta este esquema de carga para as vias principais e veículos normais e o esquema SW/2 para os comboios mais pesados (ver Tabela A.4-1).

### Esquemas de Carga do Eurocódigo 1

#### 1. Esquema de Carga estático UIC 71

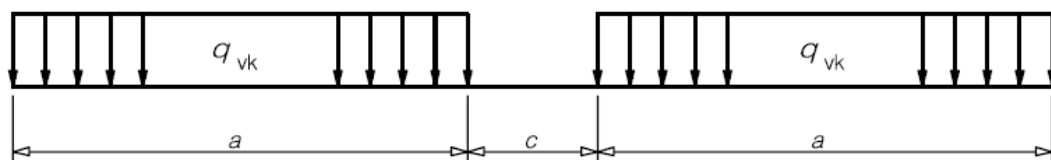


As cargas definidas acima serão multiplicadas por um factor  $\alpha$ , consoante o tipo de tráfego que circula na linha. O valor  $\alpha$  pode ter os seguintes valores:

0,75 - 0,83 - 0,91 - 1,00 - 1,10 - 1,21 - 1,33 - 1,46

Este valor afecta também as restantes acções de cálculo, tais como a força centrífuga, a força de lacete (só nos casos de  $\alpha \geq 1$ ), de arranque e frenagem, forças sobre os encontros e forças acidentais. Apenas na análise da deformada para conforto de passageiros é que este valor não se usa.

#### 2. Esquema de Carga estático SW/0 (pontes com vigas contínuas) e SW/2 (comboios pesados)



Esquema de Carga	$q_{vk}$ [kN/m]	$a$ [m]	$c$ [m]
SW/0 ( $\times \alpha$ )	133	15	5.3
SW/2	150	25	7.0

#### 3. Esquema de Carga "Comboio sem carga" – $q_{vk} = 10 \text{ kN/m}^2$ (ao longo de toda a ponte)

Tabela A.4-1 Esquemas de Carga preconizados pelo Eurocódigo 1

Torna-se necessário verificar se as pontes que estão em serviço, e que foram dimensionadas obedecendo a regulamentos anteriores estão em conformidade e segurança com os regulamentos e as cargas actuais.

### **Efeito dinâmico**

O efeito dinâmico depende, entre outros factores, das características de vibração da estrutura, do estado da via e do material circulante e, ainda, da velocidade dos comboios. Para velocidades da ordem dos 200 km/h torna-se necessário efectuar verificações muito detalhadas, pois os efeitos dinâmicos tendem a aumentar de forma considerável, como resultado essencialmente dos efeitos de ressonância (Ribeiro, Diogo 2004)

### **Força Centrífuga e Impulsos Laterais**

A passagem de um comboio em velocidade numa curva provoca esforços na ponte aplicados a 1.80m acima da cabeça do carril e em correspondência com as sobrecargas.

### **Força de Lacete**

A força de lacete serve para ter em conta os esforços laterais induzidos pela passagem de comboios. Estes actuam sobre as ligações dos carris às longarinas quando a via não tem balastro, provocando choques entre esses elementos.

### **Força de Arranque e Frenagem**

O arranque e frenagem dos comboios exigem uma grande rigidez horizontal das estruturas. As forças máximas podem ser aproximadamente  $\frac{1}{4}$  do peso do comboio (sobrecargas não afectadas do coeficiente dinâmico), devendo os tabuleiros ser dotados de pontos de ancoragem muito resistentes e rígidos, normalmente sobre os apoios. As anomalias verificadas nos aparelhos de apoio podem resultar destes esforços, traduzindo-se em fissuração, desalinhamento dos apoios e por vezes também das longarinas.

### **Efeito de Sopro**

A passagem dos comboios de alta velocidade provoca esforços de sopro elevados sobre os elementos de protecção acústica lateral e de outros painéis. A concepção desses equipamentos deve ter em conta os riscos de fissuração por fadiga provocados pela passagem repetida dos comboios.

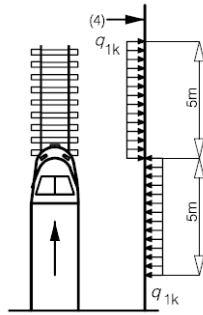


Figura A.4-2 - Efeito de Sopro (Eurocódigo 1)

As acções de circulação ferroviária sobre as pontes induzem solicitações intensas e repetidas nas pontes, que se traduzem numa redução da vida residual dos materiais e das ligações.

#### A.4.2.3 - ACÇÕES NATURAIS

##### Temperatura

O efeito da temperatura sobre uma ponte ou qualquer outra estrutura faz-se sentir directamente sobre o material que a constitui e indirectamente sobre a estrutura.

Em ensaios realizados em laboratório sobre provetes de aço sujeitos a esforços de tracção, verificou-se que o aumento da variação de temperatura provoca um aumento da ductilidade do material mas uma diminuição da resistência deste. No caso da diminuição da temperatura, observa-se uma tendência para um comportamento frágil, sendo conhecidos alguns casos de rotura frágil, sem nenhuma deformação plástica. Esta rotura verifica-se nos ensaios de resiliência sobre provetes em flexão.

Além de afectar o comportamento físico do material, a temperatura afecta também o comportamento químico, através do aumento de velocidade das reacções químicas no processo de degradação, do qual se destaca a corrosão no aço.

É importante adoptar pormenores construtivos que permitam a estrutura deformar-se livremente sob acção do efeito da temperatura (aparelhos de apoio, juntas de dilatação de carris, etc.).

## Vento

A acção do vento manifesta-se nas pontes por ondulação e ressonância da estrutura. Esta acção é condicionante para os elementos de contraventamento, ligações e para a subestrutura da ponte.

### A.4.2.4 - ACÇÕES ACIDENTAIS

#### Forças de Descarrilamento

O Eurocódigo 1 preconiza um dimensionamento das pontes ferroviárias para um possível descarrilamento, procurando minimizar o dano provocado na ponte. Devem ser consideradas duas situações possíveis no dimensionamento:

i) Situação I – descarrilamento dos veículos ferroviários, mantendo-se este na zona da via-férrea. Nesta situação admitem-se danos na estrutura mas deve evitar-se o colapso parcial da estrutura.

ii) Situação II - descarrilamento dos veículos ferroviários, com este a balancear-se no bordo da ponte e aplicando a acção nesta zona. Nesta acção procura-se evitar o colapso da estrutura e a sua rotação.

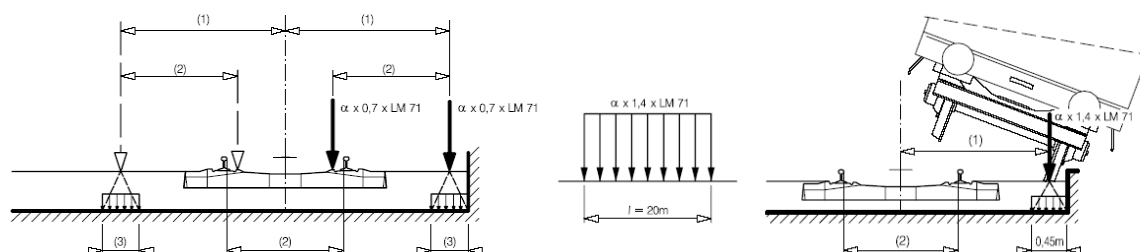


Figura A.4-3 - Acções de Descarrilamento (Eurocódigo 1)

#### Acção devida a impactos e explosões

O Eurocódigo 1 contempla na secção 1-7 as acções acidentais devidas a Impactos e Explosões que são possíveis de acontecer e para as quais a ponte deve apresentar uma resistência residual aceitável.

Não estão incluídas nestas acções as relativas a explosões devidas a acções terroristas ou outras, tendo estas já sido fonte de estudo por outros autores (Seible, F., Hegemier, G., Wolfson, J., Conway, R., Arnett, K., Baum, J.D. - 2006).



As acções devidas a impactos são as provenientes de colisões de veículos, barcos ou comboios sob a ponte. Há que averiguar o modo como eles circulam sob esta e classificar a estrutura em função da sua importância e das consequências que o impacto pode provocar.

### **Acção da Água**

Juntamente com as guerras, a acção da água foi no passado a principal causadora de queda de pontes. Com o evoluir das técnicas de execução de fundações profundas, esta causa tem sido cada vez menos grave (Calgaro, J. 1997).

A infra-escavação em redor dos pilares consiste numa escavação e remoção do leito do rio. Esta tende a descalçar as fundações de duas formas:

- Infra-escavação geral do rio, conduzindo a uma erosão mais ou menos uniforme do leito, em função da velocidade da corrente e da intensidade da cheia.
- Infra-escavação local, devida a turbilhões em ferradura em redor do pilar que provocam escavação profunda quando a velocidade de corrente iguala a velocidade crítica de carga.

Outra acção da água, mais frequente na época das chuvas, é a abrasão provocada pelos sedimentos carregados pelo curso de água sobre os pilares e fundações (Calgaro, 1997).

Esta acção deve ser considerada no projecto de pontes, devendo serem usados estudos hidrográficos na sua análise.

### **Acção devidas a Sismos**

As acções sísmicas condicionam o dimensionamento dos elementos de contraventamento, a subestrutura e os aparelhos de apoio. Estes deverão ser dimensionados para absorver os esforços horizontais provenientes destas acções.

### **Acção do Fogo**

A acção do fogo deve ser tida em conta na definição do tipo de pintura que é aplicado aos elementos da ponte. No caso de existir vegetação à volta ou sob a ponte, esta probabilidade é maior, devendo então ser previsto uma classe de resistência ao fogo superior na pintura dos elementos.

#### **A.4.2.5 - ACÇÕES DURANTE A FASE DE CONSTRUÇÃO**

As acções de construção podem ser elevadas no caso de estruturas metálicas, fruto da utilização de meios de elevação de grande dimensão. Isto deve-se em grande parte ao peso que a pré-fabricação tem neste tipo de construção. Torna-se por isso importante o estudo do transporte de peças, do processo construtivo e montagem, para que não se induza nos elementos da estrutura esforços para os quais não estão dimensionados.

O Eurocódigo 1 prevê na parte 1.6 a existência de acções específicas para a fase de construção, classificando-as como acções variáveis. Estas incluem a circulação de meios humanos e de equipamento, acumulação de detritos, atrito entre elementos e aparelhos de apoio provisório em pontes de avanços, etc.

Durante a fase de execução há que ter também em conta as restantes acções tais como o vento, temperatura, neve, sismos, força da água nos pilares, etc. Para algumas destas existem períodos de retorno definidos para a fase de construção, que alteram o valor destas acções para esta fase particular.

#### **A.4.3 - PROJECTO DE DURABILIDADE**

No caso das pontes metálicas, o Eurocódigo 3 refere que, dependendo das acções a que uma estrutura metálica está exposta e à vida útil para a qual está dimensionada, esta deverá ser:

- Projectada para um período de vida útil de 100 anos.
- Projectada de forma a evitar a corrosão.
- Projectada e pormenorizada tendo em conta a fadiga do material, devendo ser feita a verificação à fadiga para o tabuleiro e vigas principais.
- Projectada para o desgaste.
- Projectada para acções acidentais
- Inspeccionada e conservada.

Alguns elementos constituintes da ponte não terão o mesmo período de vida útil desta, pelo que terão de ser substituídos (caso dos apoios e juntas de dilatação). É

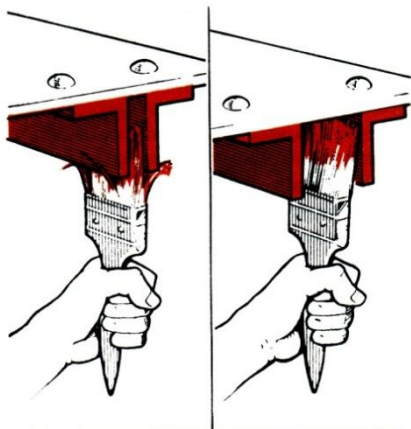
referido que ao não poderem ser dimensionados com fiabilidade suficiente para a durabilidade da ponte, há obrigatoriamente que prever a sua substituição. Destes elementos destacam-se o sistema de pintura, aparelhos de apoio, juntas de dilatação, sistema de drenagem, guardas, barreiras laterais acústicas, etc.

#### A.4.3.1 - PORMENORES CONSTRUTIVOS

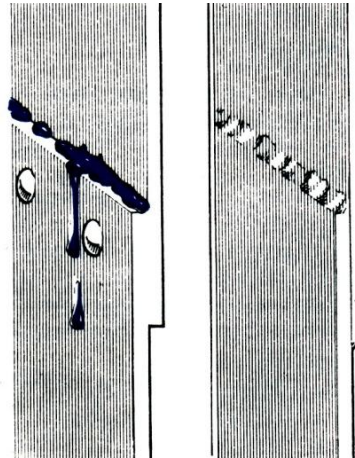
As pontes e os seus elementos devem ser dimensionados para minimizar danos devido a deformações excessivas, corrosão, fadiga e acções acidentais.

##### a) Pormenores de minimização da corrosão – Limpeza, protecção e drenagem

- Todos os pormenores deverão ser dimensionados e projectados para minimizar o risco de corrosão e permitir facilmente inspeccioná-los, limpá-los e mantê-los conservados. Caso isso não seja possível, dever-se-á assegurar uma selagem efectiva contra a corrosão (por exemplo, o interior de secções ocas ou em caixão) ou construir a ponte com aço especial (ex. aço inoxidável).



Na definição do projecto e durante a construção é preciso prever espaço suficiente entre diferentes perfis e chapas, para que se possa aplicar a pintura a pincel.



As juntas sobrepostas nas construções metálicas favorecem a corrosão (a humidade instala-se aí e ataca-as). As juntas soldadas permitem o bom escoamento da água.

Figura A.4-4 – Pormenores construtivos favoráveis às acções de manutenção

- Deve assegurar-se drenagem a todas as secções de elementos metálicos a não ser que elas estejam seladas com soldadura (ex. furos para água).
- Os tubos de drenagem devem ser dimensionados de forma a permitirem a sua limpeza fácil, devendo estar bem definido o local dos sumidouros e caixas de visita.

- Todos os tabuleiros de pontes deverão ser à prova de água. As faixas de rodagem e passeios devem ser selados e regularmente reparados para evitar a infiltração de água.
- O sistema de drenagem deve ter em conta a pendente do tabuleiro e a existência de “trop-plein”.
- A drenagem deve assegurar o escoamento para uma zona afastada da zona inferior da superestrutura, não colocando em risco os elementos sob este (pilares, apoios, encontros).
- Em pontes ferroviárias até 40 metros e tabuleiro com balastro, pode assumir-se que este garanta a sua própria drenagem para o sistema de drenagem dos encontros, sem recurso a nenhum sistema de drenagem. Deve garantir-se uma pendente mínima para os apoios.

#### b) Melhoria da Resistência à Fadiga

Uma vez que a fractura de fadiga se inicia invariavelmente num entalhe causador de concentração de tensões, deve-se procurar baixar essa concentração através de:

- Maiores raios de concordância
- Suavizar contornos na vizinhança da mudança de qualquer secção
- Escolher a localização de entalhes em zonas de baixa tensão nominal.

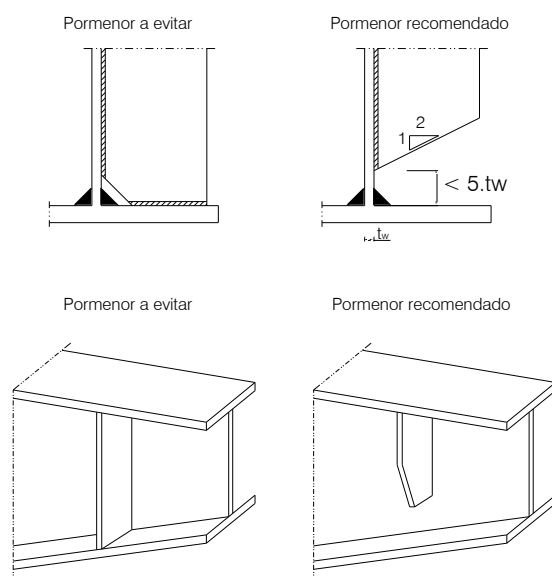


Figura A.4-5 – Pormenores a adoptar para minimizar concentração de tensões

Pormenor recomendado  
Atenua a mudança brusca de secção

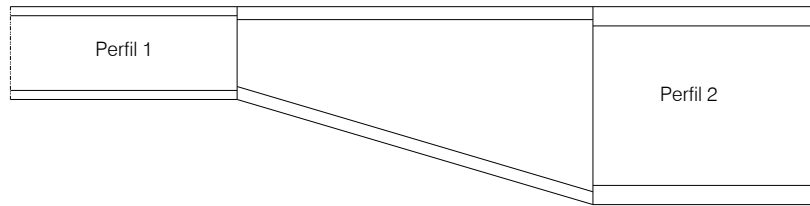


Figura A.4-6 – Pormenores a adoptar para evitar mudança de secção brusca

### c) Vibrações e choques

- As ligações da estrutura devem ser realizadas preferencialmente com parafusos pré-esforçados (ligações de categoria B e C) ou com soldaduras e rebites adicionais para garantir que não existe deslizamento na ligação. As juntas com transmissão de forças por contacto só podem ser usadas quando se justifique por razões de fadiga.
- Exceptuando as pontes metálicas mais antigas, a maior parte das pontes ferroviárias actuais possui uma via com uma camada de balastro de espessura variável (25 a 45 cm). O balastro, favorece a repartição das cargas transmitidas pelos eixos dos comboios, amortece os choques entre elementos e facilita as operações de manutenção na via.

#### A.4.3.2 - CONTROLO DA FORMAÇÃO DE FISSURAS – ELEMENTOS CRÍTICOS

Em fase de projecto devem ser encontrados valores referência para o número de ciclos limite em pontos-chave da estrutura para que se possam monitorizar aquando da inspeção (Xantakos, Petros 1996). Deve por isso ter-se em conta este fenómeno no cálculo de estruturas metálicas que se preveja virem a estar sujeitas a um grande número de ciclos de carga – descarga, como é o caso das pontes ferroviárias.

#### **A.4.3.3 - PROJECTOS DE REFORÇO DE PONTES ANTIGAS**

As acções devidas à circulação ferroviária têm aumentado, pelo que o conhecimento das acções de dimensionamento originais torna-se importantíssimo para uma correcta avaliação da margem de segurança que a ponte ainda retém, particularmente em pontes antigas.

Torna-se necessário verificar se as pontes que estão em serviço e que foram dimensionadas obedecendo a regulamentos anteriores estão em conformidade e segurança com os regulamentos e cargas em circulação actuais.

Felizmente, a resistência dos materiais (ferro fundido, ferro e aço) nunca foi explorada ao máximo aquando da sua concepção. Em 1877 admitia-se uma tensão limites regulamentar de 55 MPa em pontes de ferro, quando actualmente se comprova que este material resiste em serviço a uma tensão de próxima dos 170 MPa. A prudência dos anteriores projectistas destas pontes seculares na utilização de materiais recentes como era o ferro e o aço macio na altura, aliada à reserva relativa às pontes metálicas (receavam que estas se deformassem à passagem das locomotivas a vapor), permitem-nos circular actualmente com comboios a 160 km/h e cargas de 120 toneladas. Porém, esse aumento de solicitação das pontes traduziu-se numa diminuição da vida residual da ponte (Calgaro, J. 1997).

#### **A.4. 4 - PRÉ-FABRICAÇÃO, CONSTRUÇÃO E MONTAGEM**

A resistência ao desgaste pode ser francamente melhorada através de um endurecimento superficial. Este tipo de tratamento pode ir desde os clássicos tratamentos por indução ou termoquímicos (cementação, nitruração, etc.) até às mais recentes técnicas de deposição de revestimentos ou de tratamento superficial recorrendo a feixes de alta energia (feixe de electrões, laser, etc.) que não conduza a uma fragilidade excessiva da peça.

A tenacidade (vista como resistência à propagação brutal de uma fissura) e a resiliência (vista como capacidade de absorver energia por deformação antes de atingir a rotura) são normalmente difíceis de correlacionar com parâmetros de natureza estrutural. A iniciação da fissuração pode ser atrasada por um aumento da resistência à ruptura,

mas, sobretudo, melhorando o estado de acabamento superficial das peças e introduzindo tensões de compressão à superfície.

Através de tratamentos térmicos poder-se-á melhorar a resistência à corrosão, mas se forem mal executados ainda são mais prejudiciais.



Figura A.4-7 - Preparação em fábrica – aplicação de sistema de protecção (pintura)

Existem diversas técnicas que se podem aplicar na fase de construção, ou posteriormente na fase de conservação que melhorem a resistência à fadiga.

Técnica	Princípio	Aplicação
Maquinagem ou afagamento	Reduz ou remove concentrações de tensões e defeitos	Cordões topo a topo e cordões de canto no pé, se a rotura se der aí.
Furos de dissipação de tensões	Reduz ou remove concentrações de tensões e defeitos	Elementos metálicos, ligações
Martelagem, granalhagem ou decapagem	Tensões residuais de compressão	Extremidade do cordão ou pé
Revestimentos (pintura, epoxy, metal)	Exclusão do meio ambiente	Concentração de tensões superficiais

Tabela A.4-2 - Técnicas de Melhoria da Resistência à fadiga





## **A.5 - FASE DE SERVIÇO (VIDA ÚTIL) – PONTE EM TRELIÇA METÁLICA**

### **A.5.1 - INTRODUÇÃO**

Neste ponto vão ser descritos os principais aspectos a ter em conta nas inspecções a realizar a pontes metálicas e serão também definidas tabelas de relação causa-efeito que relacionem anomalias com as seguintes variáveis:

- Causas
- Efeitos
- Como avaliar
- Como prevenir
- Como reparar

Estas tabelas baseiam-se no sistema de avaliação definido anteriormente e no sistema de avaliação do Departamento da Florida, E.U.A. (Thompson, Paul 2004).

### **A.5.2 - INSPECÇÃO**

A Inspeção a uma ponte deve ser efectuada de uma forma sistematizada e normalizada à ponte em causa para que seja eficiente e minimize a possibilidade de um elemento ser mal inspeccionado, não ser inspeccionado ou ser inspeccionado mais que uma vez. Neste capítulo vai ser desenvolvido um fluxograma de actuação para uma ponte reticulada, atendendo ao tipo de estrutura e de material em causa.

No caso específico das pontes metálicas, a inspeção deve obedecer a uma metodologia predefinida em função de dois factores:

- Tipo de estrutura
  - Estrutura completamente rebitada
  - Estrutura completa ou predominantemente soldada
- Tipo de anomalias potenciais
  - Corrosão
  - Deformação ou roturas acidentais

- Fadiga

Relativamente à corrosão, a maior causa de anomalias neste tipo de pontes, há que distinguir entre as estruturas mais recentes soldadas, com grandes superfícies planas e quase nenhuns pontos de retenção de água e as estruturas antigas rebitadas onde a sobreposição de chapas, as cantoneiras e outros perfis potenciam a infiltração de água.



Figura A.5-1 – Ferrugem entre chapas (Bridge Inspector's Reference Manual, 2006)

No caso das estruturas mais recentes, a detecção de focos de corrosão é mais fácil que nas estruturas mais antigas pois estas, devido à maior complexidade das ligações requerem um exame mais pormenorizado nas inspecções periódicas (AASHTO, 1994).

Acresce registar que normalmente estão associadas tarefas de manutenção e limpeza regulares aquando de algumas inspecções. Por isso mesmo, a definição da equipa responsável pela inspecção deve ser ajustada à inspecção em causa.

Neste capítulo será descrito o plano de inspecções proposto e, para cada inspecção, a periodicidade, procedimento, objectivos e resultados da inspecção.

#### **A.5.2.1 - INSPECÇÃO ANUAL DE ROTINA**

Esta inspecção é puramente visual, sendo tiradas fotografias de apoio a um relatório qualitativo. É realizada a partir do chão ou na via e deve focar-se em:

- Avaliar o estado geral da pintura (delaminação, degradação, etc.)
- Localização de possíveis focos de corrosão.
- Nos pontos de retenção de água: nós de treliças, sobreposição de peças de apoios, ligações almas-cantoneiras.
- Detectar eventuais fissurações por fadiga.

- Medir as deformações acidentais (encurvadura, bambeamento, etc.) que foram detectadas na vigilância contínua.
  - Detectar os rebites ou parafusos partidos ou desapertados
  - Ligações de elementos secundários e principais susceptíveis de estarem sujeitos a variações importantes de esforços localizados.
  - Observação dos aparelhos de apoios particularmente de possíveis sinais de bloqueio. Durante esta inspecção, podem também ser realizadas acções de limpeza (por exemplo vegetação) e manutenção regular de alguns elementos (lubrificação de aparelhos de apoio).
- Deve ser realizada uma inspecção detalhada especial caso seja detectada algum defeito importante (corrosão avançada, humidade e retenção de água) que possa pôr em causa a estabilidade estrutural, durabilidade ou circulação ferroviária (Sustainable bridges, 2007).

#### **A.5.2.2 - INSPECÇÃO DETALHADA**

É uma inspecção que deve ser realizada por engenheiros com experiencia (inspectores seniores), devendo nalguns casos ser acompanhado por especialistas em ligações soldadas (Sustainable bridges, 2007).

É uma inspecção que deverá ser realizada com maior detalhe que a anterior, a uma distância de um braço dos elementos, em que poderão ser usados ensaios não destrutivos.

A inspecção deve focar-se em:

- Avaliar o estado do sistema de protecção anticorrosivo de elementos metálicos (pintura e sistema de drenagem).
- Avaliar o estado das ligações que:
  - . No caso de ligações rebitadas, a avaliação deve ser feita com a utilização de um martelo sob a cabeça dos rebites. Essa operação deve ser feita nas ligações mais importantes (normalmente em 5% das ligações, num mínimo de 5) devendo, em função dos resultados generalizar este ensaio a todas as ligações.

. Em ligações aparafusadas, deve verificar-se se existem parafusos soltos ou em falta, corroídos ou, no caso de parafusos pré-esforçados se o momento de aperto se mantém em valores aceitáveis (realizado com chave dinamométrica).

. nas ligações soldadas deve verificar-se se existe formação de fissuras especialmente nas ligações mais importantes.

- Nas pontes soldadas, deve também ser feita uma avaliação das ligações e das zonas em que tenham sido detectadas fissuras por fadiga. As zonas sujeitas ao mesmo tipo de esforços nos quais já foram detectadas fissuras deverão também ser cuidadosamente inspeccionadas. Se for necessário, dever-se-á decapar os elementos em que surjam pequenas fissuras para se verificar se essas pequenas fissuras se estendem também ao metal ou se são só no revestimento anticorrosivo.

Os ensaios não destrutivos mais utilizados nas pontes metálicas são:

- Ensaios com tinta penetrante para detecção de fissuras.
- Ensaios ultra sónicos para detecção de espessuras de chapas (não aplicável a pontes em ferro fundido).
- Inspeções radiográficas para detecção de fissuras superficiais ou ocultas em elementos constituídos por chapas sobrepostas (pontes metálicas rebitadas mais antigas).

#### **A.5.2.3 - LIMPEZA**

O aparecimento de deformações e fissuração numa ponte é sinal de que algo está a funcionar incorrectamente na ponte. Estas anomalias poderão ser devidas a causas recentes ou podem-se estar a desenvolver-se há algum tempo, não sendo visíveis a olho nu inicialmente (Calgaro, 1997).

É costume limpar as áreas a observar numa inspecção para permitir uma melhor observação de possível corrosão, ou defeitos escondidos. Em estruturas metálicas, especialmente em elementos susceptíveis de fracturar (sujeitos a tracção), pode ser necessário remover a pintura de protecção que esteja fissurada ou em descasque para se inspeccionar. No caso de elementos com uma profundidade de corrosão acentuada será necessário retirar toda a corrosão utilizando martelos e medir a secção efectiva que resta do elemento.

Deverão estar previstos os procedimentos de manutenção e reparação das superfícies fragilizadas durante a inspeção (AASHTO, 1994).

### A.5.3 - DETALHES DE INSPECÇÃO POR ELEMENTOS

Nos próximos pontos vão descrever-se os pontos principais a inspeccionar nos principais elementos da ponte metálica treliçada.

#### A.5.3.1 - SUPERSTRUTURA

Inclui-se os elementos estruturais da treliça metálica, apoios, ligações e sistema de protecção destes elementos. O processo de inspecção dividir-se-á em inspecção sob a ponte, na ponte e sobre a ponte.

##### i. Sob a ponte

No caso de pontes sobre vias de circulação deve-se verificar se existe alguma anomalia devido ao embate de algum veículo que circule com altura superior ao previsto. Caso tenha ocorrido, deve-se observar se existem vibrações ou deformações excessivas aquando da passagem de um comboio sobre a ponte. Na figura seguinte mostra-se um exemplo de uma situação verificada na linha do Douro. Nas figuras mostra-se o dano numa das vigas principais e as medidas de prevenção e reparação aplicadas.



a)



b)



c)



d)

Figura A.5-2 – Ponte da linha do Douro, próxima da Estação de Mesão Frio

- Quando o tabuleiro encobre o banzo superior de vigas ou a totalidade do membro, pode ser necessário remover parte do material de revestimento para verificar se existe perda de secção efectiva.

- Na inspecção deve observar-se se existe material inflamável sob a ponte, arbustos, se existe acumulação de detritos ou se, sobre a água flutuam troncos ou outros materiais.

## ii. Na ponte

### ***Elementos de susceptíveis de fissuração***

Na inspecção da ponte deve-se dar uma atenção especial aos elementos susceptíveis de fissuração por fadiga. Estes são elementos ou componentes sujeitos a tracção cuja rotura poderá provocar no colapso da ponte. Eles caracterizam-se por:

- Elementos em que parte ou a totalidade da secção estão em tracção.
- Zona tracionada de elementos sujeitos a esforços de flexão.
- Chapas/cobre-juntas soldadas a zonas tracionadas de elementos susceptíveis de fissurar por fadiga.
- Ligações de transição entre elementos de rigidez diferente. (ver AASHTO 10.2.1 B)
- Ligações com grande concentração de tensões.
- Zonas adjacentes a nervuras de rigidez e gussets, devido a tensões residuais..
- Defeitos ou impurezas do material em zonas tracionadas.
- Estruturas de tabuleiro complexas.

Previamente a qualquer inspecção, dever-se-á criar uma lista dos principais elementos susceptíveis de fissuração por fadiga. Esta lista deverá ser criada em conjunto pelos projectistas e pelo departamento responsável pela gestão de pontes. Com o decorrer das inspecções, poderão ser adicionados elementos que se tenham detectado em anteriores inspecções.

### ***Corrosão***

Os elementos deverão ser inspeccionados para possíveis perdas de secção devido a ferrugem ou corrosão. Normalmente, a inspecção visual não é suficiente para medir a dimensão da zona afectada pelo que poderá ser necessário decapar o elemento para medição da zona afectada.

Alguns elementos poderão não estar protegidos à corrosão por se supor não estarem sujeitos a ataque de elementos corrosivos. Por isso mesmo deverão inspeccionar-se:

- Pormenores que molhem constantemente elementos não protegidos ou que os exponham a ambientes agressivos (por exemplo, ambiente marítimo).
- Sinais de início de corrosão.

### ***Encurvadura e Bambeamento***

Os elementos deverão ser inspeccionados para possível enfundamento de almas ou chapas de ligação. Os elementos comprimidos devem ser inspeccionados à encurvadura.

#### **A.5.3.2 - TRELIÇA DAS VIGAS PRINCIPAIS**

A inspeção de uma treliça começa normalmente por um percurso ao longo do passeio ou pela via (caso não haja passeio e com as devidas medidas de segurança), observando se existe algum desalinhamento vertical ou horizontal. Deve verificar-se atentamente se existe algum desnivelamento de algum elemento que indique rotura parcial de alguma ligação ou desajuste de algum batente. Devem ser verificados todos os elementos: diagonais, montantes e banzo superior e inferior

Verificar todos os elementos da treliça para verificar possíveis embates. Em pontes rodoviárias, o pórtico de entrada é normalmente o mais susceptível de sofrer embates especialmente de veículos com altura superior à prevista.

Remover detritos que se tenham acumulado nas chapas de ligação para evitar possível corrosão e para verificar se existe perda de secção.

##### **a. Elementos comprimidos**

- Verificar se não existem excentricidades nem curvaturas.
- Verificar se as ligações estão intactas e sem excentricidades.

##### **b. Elementos tracionados**

- Se for um elemento susceptível de rotura frágil ou fissuração por fadiga, seguir procedimentos especiais de verificação.

- Membros compostos por 2 elementos: verificar se o esforço de tracção está distribuído da mesma forma.

**c. Contraventamentos laterais**

- Verificar se estão danificados ou se estão bem ajustados.
- Verificar se existem fissuras por fadiga nos elementos e nas ligações devido a acção do vento ou vibrações provocadas aquando da passagem do comboio.

**A.5.3.3 - ESTRUTURA DO TABULEIRO**

Por estrutura do tabuleiro entende-se a estrutura metálica subjacente ao tabuleiro da ponte. Muitas vezes estes tabuleiros são compostos por longarinas situadas sob os carris que se apoiam em carlingas metálicas que, por sua vez se apoiam nas vigas principais. Muitos destes elementos e poderão estar incluídos nos elementos críticos susceptíveis de fractura frágil por fadiga. Deve-se por isso verificar:

- Longarinas, carlingas e as ligações entre estas.
- Chapas salientes do pavimento: verificar possíveis perdas de secção ou fissuração.
- Furos ovalizados: verificar se estão a funcionar bem, se não têm forças de levantamento e se estão desobstruídos. Estes são frequentes na ligação longarinas / carlingas.
- Flexão lateral de elementos do pavimento por restrição de movimentos devidos às longarinas e elementos de travamento. Possíveis fendas de fadiga nas ligações entre elementos.
- Em pontes em que o tabuleiro não se apoia directamente nas vigas principais há uma tendência para desfasamento de comportamento quando sujeito a forças dinâmicas. Este desfasamento provoca muitas vezes fissuras entre as carlingas e as vigas principais.

**A.5.3.4 - LIGAÇÕES**

As ligações em pontes antigas têm muitas vezes configurações que potenciam a acumulação de detritos. Estes devem ser limpos e inspeccionados para possíveis focos de corrosão.



### **i. Aparafusadas e Rebitadas**

À que ter em atenção ao tipo de ligação aparafusada. Estes deverão estar definidos no registo da ponte na base de dados. A ligação pode ser por tracção ou corte do parafuso.

- Ligações pré-esforçadas com parafusos de alta resistência - funcionam com atrito entre o parafuso e as chapas de ligação. Verificar:
  - Parafuso está perfeitamente apertado.
  - Observar se existem sinais de polimento, pintura estalada ou ferrugem à volta do parafuso. A presença de manchas de corrosão próximo da ligação é um sinal de abrasão provocado por deslizamento da ligação. Deve-se usar um martelo na cabeça do parafuso para verificar possíveis movimentos e distensão.
- Rebites e parafusos de alta resistência ao corte – verificar possíveis perdas de material, particularmente da cabeça dos rebites. Verificar se estão soltos, gastos ou cortados e se fazem barulho aquando da passagem de um comboio.
- Rebites e parafusos sujeitos a tracção – inspeccionados através da aplicação de martelo para verificar possíveis movimentos ou distensão.
- A falta de parafusos ou rebites numa ligação deverá ser registada e imediatamente reparada.

### **ii. Soldadas**

- Tendência para criar fissuras por fadiga principalmente no junto ao fim da soldadura.
- Observar se existem pequenas fissuras e manchas de ferrugem. Caso sejam visíveis devem ser realizados testes microscópicos ou testes não destrutivos (ver mais à frente).
- A presença de fissuras em soldaduras de elementos críticos deve ser imediatamente tratada.

### A.5.3.5 - PINTURA

O tipo de pintura aplicado na ponte deve estar registado, bem como o seu plano de manutenção e reforço. No caso de pontes antigas, quando da inspecção deve-se procurar identificar o número de camadas da pintura e algumas das suas características.

- Deve ser feita uma avaliação geral da pintura e identificadas zonas de possível corrosão, sua extensão e gravidade.

- Deve também verificar cuidadosamente a pintura à volta da cabeça dos parafusos e rebites. As treliças e as suas ligações são muito susceptíveis de sofrer corrosão, especialmente nos pontos de acumulação de detritos ou mais expostos a quedas de produtos contaminantes. Nos países nórdicos, o sal que se espalha nas estradas por causa da neve é uma das grandes causas de corrosão destes elementos (salpicos aquando da passagem de veículos).



Pintura encorilhada



Formação de ferrugem sob pintura



Descasque da pintura



Ferrugem pontual

Figura A.5-1 – Defeitos na pintura (Bridge Inspector's Reference Manual, 2006)

Normalmente a corrosão inicia-se nas ligações por contacto de materiais de características diferentes e por ser mais difícil a reaplicação de pinturas nestas zonas (parafusos, soldadura, material de base).

A existência de pinturas estaladas ou escamadas podem esconder fissuras importantes nos elementos estruturais.

#### **A.5.3.6 - APOIOS**

Todos os apoios devem ser inspeccionados regularmente. Pequenas alterações noutras zonas da estrutura (assentamento de pilares ou encontros) reflectem-se nos apoios, o que permite detectar situações potencialmente perigosas. Destas destacam-se:

- Sinais de anomalias ou restrição de movimentos. Pode ser provocado por fluência da superestrutura.
- - Apoios de expansão: verificar se o seu movimento não está impedido (por exemplo, por acumulação de detritos). Deve ser medido o seu deslocamento e verificar se é o correcto para a temperatura ambiente.
- Apoios deslizantes lubrificados: verificar se estão a ser correctamente lubrificados.
- Chumbadouros: verificar possíveis danos e aperto das porcas. Verificar presença de contra-porcas ou anilhas anti-desenroscamento.
- Rotura por corte ou corrosão dos chumbadouros ou dos batentes - deve ser realizada uma análise das causas, particularmente das roturas por corte.
- “Grout” de nivelamento e betão nos pilares ou encontros – verificar se existem fissuras ou desagregação.
- Verificação de batentes e equipamentos de retenção de movimentos após tremores de terra, grandes solicitações de tráfego (frenagens), queda de detritos, etc.
- Se possível, verificar se existem ruídos parasitas aquando da passagem dos comboios.

#### **A.5.3.7 - SISTEMA DE DRENAGEM**

O sistema de drenagem da ponte merece uma atenção muito especial aquando das inspecções. Este deve estar sempre limpo, com os orifícios de drenagem limpos e desobstruídos. Aquando da inspecção, deve-se verificar-se:

- Existência de poças de água – pode ser um sinal que o caimento da superfície não foi bem executado. Pode também indicar que existem tubagens ou sarjetas entupidas, o que obriga a uma acção de manutenção no sistema.
- Manchas ou Sujidade – Se a tubagem que constitui o sistema de drenagem estiver envolvido no tabuleiro, e se algum dos tubos que o constituem romper, poderão surgir manchas no betão indicadoras dessa fuga.
- Sub-dimensionamento do sistema de drenagem – Caso o sistema de drenagem seja insuficiente para o caudal a drenar, poderá surgir acumulação de água no tabuleiro.

#### **A.5.3.8 - VIA FÉRREA**

Na via-férrea, é importante observar os barrotes de madeira, especialmente nas zonas de contacto com as longarinas e carris. Deve ser observado possível apodrecimento do material, perda de material e fendas por pregagem ou aparafusamento inadequado.

Relativamente às juntas de dilatação dos carris, deve-se verificar se a junta está com a abertura prevista para a temperatura ambiente e se estão limpas e se não existem objectos a limitar o seu funcionamento (por exemplo, balastro).

#### **A.5.3.9 - Guarda-corpos e passeios**

Aquando da inspecção deverá atender-se ao seguinte:

- Corrosão: os guardas corpos estão expostos não só à chuva mas também, no caso das pontes rodoviárias ao salpico da água pela passagem dos carros. Isto pode provocar danos na pintura de protecção e subsequentemente corrosão do guarda-corpos e dos elementos de fixação (parafusos, chapa de base, etc.).
- Impactos por acidente – caso ocorram acidentes que danifiquem os guarda-corpos, deve ser registado o local e o comprimento danificado (deslocamento lateral).
- Nos passeios, deve verificar-se se existem pontos de acumulação de água.

### **A.5.3.10 - Equipamentos na ponte**

Do inventário da ponte deve constar os equipamentos e infra-estruturas que estão presentes nela, qual o seu proprietário e responsável pela manutenção bem como o seu contacto, a data de instalação ou alteração.

O inspector deve estar informado da sua existência e do risco que ele pode representar durante a inspecção. O modo como este está fixado à estrutura deve também ser inspeccionado pois poderá estar deficiente. De alguns potenciais danos salientam-se:

- Degradação estrutural por fuga de líquidos potencialmente contaminantes ou fugas de gás. Este facto acarreta também um perigo para a equipa de inspecção.
- Alguns equipamentos podem dificultar o escoamento de líquidos e o funcionamento do sistema de drenagem.
- Curto-circuitos podem provocar choques eléctricos perigosos. Perigoso para a equipa de inspecção e o público.

O inspector deve comunicar imediatamente a presença de qualquer deficiência nos equipamentos às entidades responsáveis.

## A.5.4 - TABELAS DE RELAÇÃO CAUSA-EFEITO

### A.5.4.1 - INTRODUÇÃO

Nas tabelas seguintes vão ser reunidos os elementos que resultaram da análise de conservação de uma ponte de treliça metálica. As tabelas estão divididas pelos elementos descritos no Anexo A.2, tendo servido de apoio a estas tabelas as informações relativas ao manual de inspeção da CALTRANS (Elements level inspection manual, 2008).

### A.5.4.2 - ELEMENTOS METÁLICOS

Nestes elementos incluem-se:

Elemento	Código	Unid.
LONGARINA INFERIOR	SP01	m
TRELIÇA (longarina superior, diagonais e montantes)	SP02	m
CARLINGAS	SP03	m
PÓRTICO DE ENTRADA	SP04	m
CONTRAVENTAMENTOS SUPERIOR E INFERIOR	SP05	m

Tabela A.5-1 – Elementos metálicos

Anomalia	Causas		
	Categoria	Descrição	
Corrosão	Erros de Projecto e Construção	Ranhuras, cantos vivos, que contribuem para o desgaste da pintura de protecção	
		Pontos de retenção de água (perfis em U sem orifícios de escoamento de água)	
		Materiais em contacto de origem diferente (aço, betão, alvenaria)	
		Secções rebitadas com múltiplas peças ligadas por rebites	
		Sistema de protecção (pintura) mal definido para o local (exposição ambiental)	
	Qualidade do Material	Ligações mal concebidas, com excentricidades e tensões residuais	
		Espessuras de chapas reduzidas.	
	Degradação microbiana	Heterogeneidade do material	
		Tratamentos térmicos, mecânicos e de superfície no fabrico do material mal executados	
		Vegetação e excrementos de animais	
Meio envolvente	Derrame de matérias perigosas transportadas (ex. fertilizantes)		
	Acumulação de detritos por falta de limpeza		
	Período de exposição da superfície à humidade		
Outros	Poluição atmosférica		
	Ambiente marítimo		
Fadiga	Erros de Projecto e Construção	Temperatura	
		Obstrução de Sistema de Drenagem	
		Falta de manutenção	
		Corrente eléctrica	
		Corrosão	Frequência de circulação e cargas por eixo superior ao previsto
			Pormenorização deficiente
		Erros de Projecto e Construção	Espessuras de chapa reduzidas
			Ligações fracas entre elementos principais e secundários
	Ligações rígidas (muitas vezes provocada por corrosão)		
	Variações bruscas de secção, discontinuidades na geometria de peças		
Ligações soldadas (efeito de concentração de tensões)			
Excentricidades de ligações e elementos, deslocamentos (esforços secundários)			
Rugosidade da superfície (provoca concentração de tensões)			
Corrosão	Processo de rebitagem deficiente (má execução do furo)		
	Má qualidade da soldadura		
Distorção	Impacto	Ambientes corrosivos aumentam a velocidade de propagação da fissura	
		Amaciamento, endurecimento da superfície	
	Acções	Impacto de veículos	
		Acções mais elevadas do que os que estavam previstos	
	Influência de outros elementos	Esforços devidos a extensões térmicas restringidas por defeitos em aparelhos de apoio	
Redistribuição de esforços devido a plastificação ou cedência de elementos adjacentes			
Corrosão	Deterioração do elemento		
Outros	Fogo		

Tabela A.5-2 – Tabelas de relação causa-efeito – Anomalia / Causas em elementos metálicos

ANOMALIAS PARA ELEMENTOS METÁLICOS			
Anomalia	Nível de Conservação	Descrição	Acções de conservação possíveis
<b>Corrosão</b>	1 Sem Corrosão	Não existem sinais de corrosão e a pintura de protecção está em bom estado, protegendo os elementos conforme previsto.	- Nada fazer
	2 Deterioração da Pintura	Pequenos sinais de corrosão, com início de formação de pequenos pontos de ferrugem. A pintura começa a escamar, descascar, mas ainda não existe exposição do metal.	- Nada fazer - Jacto de vácuo, limpeza e Pintura - Substituir pintura de protecção
	3 Formação de ferrugem	Manchas de ferrugem são frequentes. Partes do elemento metálico encontram-se expostas mas ainda não existe corrosão activa a provocar perda de secção.	- Nada fazer - Jacto de vácuo, limpeza e Pintura - Substituir pintura de protecção
	4 Corrosão activa	Presença de corrosão e alguma perda de secção devido a corrosão activa. No entanto, ainda não afecta a utilização do elemento ou da ponte.	- Nada fazer - Jacto de vácuo, limpeza e Pintura - Substituir pintura de protecção
	5 Perda de Secção	Corrosão provocou perda de secção e justifica a análise estrutural de reabilitação para aferir o impacto na resistência última e a funcionalidade do elemento ou da ponte	- Reabilitar elemento - Substituir elemento
<b>Fissuração por Fadiga</b>	1 Propensão para fadiga	Fissuras por fadiga estão reparadas. Porém ainda existe risco de fadiga.	- Nada fazer - Maquinagem ou afagamento - Furo para dissipar tensões e reter fissura
	2 Fissura por fadiga	Fissuras por fadiga estão a desenvolver-se.	- Martelagem, granalhagem ou decapagem - Furo para dissipar tensões e reter fissura - Revestimentos (pintura, epoxy, metal)
	3 Muitas fissuras por fadiga	As fissuras por fadiga requerem uma avaliação estrutural dos elementos ou da ponte. - Extensão acentuada da fissura.	- Reforço com chapa sobreposta - Substituir elemento
<b>Distorção</b>	1 Pequena distorção	Distorção de parte do elemento (banzo, alma)	- Nada fazer - Reparar elementos e endireitar
	2 Por reparar	Distorção de elemento. Torção em desenvolvimento	- Reparar elementos e endireitar
	3 Em análise	Distorção elevada. Possível evolução para rotura.	- Reforço de elemento - Substituição de elemento
<b>Perda de secção</b>	1 Reparado	Descamação de pintura e descasque do elemento. Quase não visível a olho nu.	- Nada fazer - Reparar elementos e pintar
	2 Por reparar	Perda de secção em desenvolvimento. Descasque a acentuar	Reparar elementos e pintar
	3 Em análise	Perda de Secção visível e mensurável. Elemento deverá ser verificado (avaliação estrutural).	- Reparar e pintar - Reforço de elemento
	4 Perda de secção	A redução de secção afecta a capacidade de carga ou utilização da ponte. Pré-rotura	- Reforço de elemento - Substituir elemento

Tabela A.5-3 – Tabelas relação causa-efeito – Anomalia /Avaliação / Acção conservação – Elementos metálicos





Nível de conservação 1

Nível de conservação 2

Nível de conservação 3



Nível de conservação 4



Nível de conservação 5

Figura A.5-2 - Fotografias de apoio para avaliação de elemento metálico à corrosão

(Pontis Bridge Inspection Manual - 2007)



Nível de conservação 1

Nível de conservação 3

Nível de conservação 3

Figura A.5-3 – Fotografias de apoio para avaliação de elemento metálico à fissuração por fadiga

(Pontis Bridge Inspection Manual - 2007)

### A.5.4.3 - LIGAÇÕES METÁLICAS

Nestes elementos incluem-se:

Elemento	Código	Unid.
Ligações principais	SP06	Un.
Ligações secundárias	SP07	Un.

Tabela A.5-4 – Elementos - Ligações metálicas

Nestes elementos, as causas de corrosão e ferrugem são as mesmas dos elementos metálicos, a que se juntam as seguintes:

Anomalia	Causas	
	Categoria	Descrição
Vibrações excessivas		Vibração por interrupção de carris (à passagem do comboio)

Tabela A.5-5 – Tabelas relação causa-efeito – Anomalia / Causas em ligações

Anomalia	Nível de Conservação	Descrição	Ações de conservação possíveis
Ferrugem em ligações e deslizamento de parafusos	1	Manchas de ferrugem	Nada fazer
	2	Ferrugem em desenvolvimento	Reparar elemento
	3	Ferrugem acentuada Alguns parafusos caíram	Substituir ligação
	4	Ferrugem grave	Apoios provisórios Substituir ligação imediatamente

Tabela A.5-6 - Tabelas relação causa-efeito – Anomalia / Avaliação / Acção de conservação – Ligações



Nível de conservação 3



Nível de conservação 4

Figura A.5-4 - Fotografias de apoio para avaliação de ferrugem em ligações metálicas

(Pontis Bridge Inspection Manual - 2007)

#### A.5.4.4 - APARELHOS DE APOIO

Elemento	Código	Unid.
Aparelhos de apoio	AP01	Un.

Tabela A.5-7 – Elementos – aparelhos de apoio

Anomalia	Categoria	Causas	
		Descrição	
Degradação de aparelho de apoio	Base e chumbadouros	Acumulação de detritos. Corte dos chumbadouros e dos batentes, corrosão na chapa de base Degradação do material adjacente ou por baixo do apoio	
	Aparelho	Corrosão, laminagem, degradação da pintura ou da galvanização Degradação da pintura ou da galvanização Fissuras no aço Deslocamentos excessivos (fora da chapa de base) e derrube Desalinhamento transversal Descolagem do teflon e do neoprene Cortes ou degradação do teflon, degradação do aço inoxidável. Esforços de corte excessivos, deformação superior a 25% da altura do neoprene. Compressão não uniforme ou torção do apoio	

Tabela A.5-8 - Tabelas relação causa-efeito – Anomalia / Causas em aparelhos de apoio

Anomalia	Nível de Conservação	Descrição	Ações de conservação possíveis
Degradação de apoio em neoprene	1 Sem degradação	O apoio não apresenta grandes sinais de degradação. Deformações por corte estão dentro do previsto para a temperatura do ano (inclinação de 0 – 30 graus).	- Nada fazer
	2 Pequena degradação	Pequenas fissuras, descasque ou outros sinais de degradação. Deformação por corte com valores elevados (inclinação de 30 – 45 graus). O apoio ainda garante o nível de serviço predefinido.	- Nada fazer - Reparar apoios
	3 Elevada degradação	Deformações do neoprene denotam rotura do apoio. A degradação é elevada, com deformações excessivas (inclinação superior a 45 graus). As superfícies do apoio já não são planas. Rotura iminente.	- Reparar apoios - Substituir apoios

Anomalia	Nível de Conservação	Descrição	Ações de conservação possíveis
Degradação de apoio fixo	1 Sem degradação	O apoio não apresenta grandes sinais de degradação e funciona como previsto. Alinhamentos verticais e horizontais dentro dos limites. Base do apoio em grout está normal e a lubrificação do apoio foi feita. Pintura do elemento está intacta.	- Nada fazer
	2 Pequena degradação	Pintura degradada, surgem pontos de corrosão, mas o aparelho de apoio ainda funciona como previsto. O apoio mexe-se levemente, provocando fissuração no betão ou alvenaria de apoio. Base em Grout com algumas fissuras e fragmentação.	- Nada fazer - Limpar e pintar - Reparar apoios
	3 Elevada degradação	Corrosão avançada. Pode haver perda de secção do apoio. Deve restringir-se a circulação na ponte. Elementos metálicos podem estar em rotura. Não existe lubrificação do apoio. A base em grout pode estar muito degradada.	- Reparar apoios - Substituir apoio

Tabela A.5-9 - Tabelas relação causa-efeito – Anomalia / Avaliação / Acção conservação – Ap. de apoio



Aparelho de apoio em neoprene

Nível de conservação 2



Apoio fixo

Nível de conservação 2

Figura A.5-5 - Fotografias de apoio à avaliação de aparelhos de apoio  
(Pontis Bridge Inspection Manual - 2007)

## BIBLIOGRAFIA

- AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials. <http://www.transportation.org>
- AASHTO (1994), *Manual for condition Evaluation of bridges*, 2<sup>nd</sup> Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO, Washington, D.C.
- AUSTRORARDS, 2002 - *Bridge Management Systems — the State of the Art - AP-R198* - National Library of Australia.
- Branco, C., Fernandes, A. e Castro, P. (1999) - *Fadiga de Estruturas Soldadas*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- *Bridge Inspector's Reference Manual - Publication No. FHWA NHI 03-001*, December 2006 - National Highway Institute – FHWA.
- BRIME - Bridge Management in Europe - *Deliverable D14 Final report*, 2001 - European Commission DG VII 4th Framework Programme. <http://www.trl.co.uk/brime/> (consultado em 16-08-2004).
- Brito, Jorge Manuel Calição Lopes (1992) – *Desenvolvimento de um sistema de gestão de obras de arte em betão*, Tese de Doutoramento para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- *Caderno de Encargos de Trabalhos de Manutenção, Cláusulas Técnicas Especiais* - E.P. Estradas de Portugal, E.P.E.
- *Caderno de Encargos de Trabalhos de Reparação, Cláusulas Técnicas Especiais* - E.P. Estradas de Portugal, E.P.E.
- Cadilhe, Miguel (1995) – “Matemática Financeira Aplicada”, Edições Asa.
- Calgaro, Jean, Armand et Lacroix, Roger, (1997) – *Maintenance et Réparation des Ponts*. Presses de L'École Nationale des Ponts et Chaussées, ISBN: 2-85978-278-8
- Clemente, José Carlos (2001) - *Inspecção e Manutenção de Pontes Ferroviárias* – Seminário Segurança e Reabilitação de Pontes em Portugal. Edições FEUP, Colecção Colectâneas 8, Porto.

- Costa, Bruno J. A., Félix, Carlos, Figueiras, Joaquim A. (2006) - *Concepção, arquitectura e instalação do sistema de monitorização de base óptica aplicado à Ponte Luiz I* - 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, 2006, Lisboa.
- Cruz, Paulo, J. S. (2006) – *Linhas Orientadoras de uma Política de Manutenção, Conservação e Inspeção de Pontes*, 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, Lisboa.
- Cruz, Paulo, J.S. – *Inspeção, Diagnóstico, Conservação e Monitorização de Pontes* - Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/6446/1/PC%2023-INSPECÇÃO,%20DIAGNÓSTICO,%20CONSERVAÇÃO.pdf> (consulta a 24-08-2009).
- Cruz, Paulo J.S. (2006) - *Segurança, Manutenção e Conservação de Pontes* - ,3<sup>rd</sup> International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, International Association for Bridge Maintenance and Safety, Porto.
- Chase, Steven B., Washer, Glenn (1997) - *Nondestructive Evaluation for Bridge Management in the Next Century*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. <http://www.tfhr.gov/pubrds/july97/ndeJuly.htm>
- Das, Parag C. 1999 – *Management of Highway Structure* - Highway Agency -The Institution of Civil engineers.
- Danish Road Directorate – Pilot Project for Bridge Management System, Portugal. <http://www.vejdirektoratet.dk/dokument.asp?page=document&objno=11245> (Consulta a 15-08-2007).
- *Economical Stuctural Steelwork (1984)*, Australian Institute of Steel Construction.
- Elbehairy, Hatem (2007) – *Bridge Management System with Integrated life cycle cost optimization* - Thesis for the degree of Doctor of philosophy in Civil Engineering, Waterloo, Ontario, Canada.
- *Elements level inspection manual*, 2008 - Caltrans – California Department of Transportation
- Ellis, R. M., Thompson, P.D. (2006) - *The role of the bridge management system in bridge asset valuation*, 3<sup>rd</sup> International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, International Association for Bridge Maintenance and Safety, Porto.

- EN1990- prAnnexA2 (2002) - *Basis of Stuctural Design- AnnexA2: Applications for bridges (normative)*, European Committee for Standardization (CEN), Final PT draft, Brussels.
- EN1991-2 (2003) - *Actions on Structures- Part 2: General Actions- Traffic loads on bridges*, European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- EN1993-2 (2004) - *Eurocode 3: Design of steel structures Part 2: Steel bridges*, European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- EP - Estradas de Portugal, E.P.E - *A Empresa e a Estrutura Organizacional* - <http://www.estradasdeportugal.pt>
- Frýba, L. (1996)- *Dynamics of railway bridges*, Thomas Telford, Prague.
- Gervásio, H., Silva, L. Simões (2006)- *New trends in bridge management systems: Life cycle assessment analysis*, 3<sup>rd</sup> International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, International Association for Bridge Maintenance and Safety, Porto.
- Donzel, M., Hajdin, R. – 2000 - *Road Structures Management Systems Development in Switzerland*, 16<sup>th</sup> Congress of IABSE, Lucerne.  
<http://bridge.tongji.edu.cn/ibase/paper261.pdf>
- *Manual de Inspeções, Principais Especificações Técnicas* – E.P. Estradas de Portugal, E.P.E.
- *Manual de Inspeções de Rotina* - E.P. Estradas de Portugal, E.P.E.
- *Manual de Inventário* - E.P. Estradas de Portugal, E.P.E.
- Mendonça, T. P., Vieira, A. R., Brito, V. R., Paulo, P. P. (2006)- *Bridge Management System- GOA*, 3<sup>rd</sup> International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, International Association for Bridge Maintenance and Safety, Porto.
- Mendonça, Tiago, Brito, Vítor (2008) – *Sistema de Gestão de Obras de Arte (GOA)* - 5<sup>o</sup> Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, 2<sup>o</sup> Congresso de Engenharia de Moçambique / Maputo.
- Moura, H, Teixeira, J. 2005 – *Claims in railway projects in Portugal*
- NCHRP Report 590 - *Multi-Objective Optimization for Bridge Management Systems* (2007) – Transportation Research Board - National Cooperative Highway Research Program REPORT 590.



- NCHRP Synthesis 375 – *Bridge Inspection Practices* (2007) – Transportation Research Board - National Cooperative Highway Research Program REPORT 590.
- Neves, Luís, C., Frangopol, Dan M., Cruz, Paulo, J. S. (2006) - *Lifetime Multi-objective Optimization of Maintenance of Existing Steel Structures*, 6<sup>th</sup> International Symposium Steel Bridges, Prague.
- *O Início da tracção eléctrica na Ponte D. Luís I*, Ingenium, 2ª série, n.º 15, Janeiro 1997, págs. 60-65.
- Oliveira, F., Colejo, J., Gonçalves, J., Figueiredo, M., Castro, P. e Fernandes, M. (1996)- *Avaliação da resistência à fadiga da Ponte Luiz I*, Instituto da Construção, FEUP, Porto.
- *Plano e Orçamento 2006* – EP – Estradas de Portugal, E.P.E.  
<http://www.estradasdeportugal.pt> (consulta a 15-08-2009)
- *Plano e Orçamento 2007* – EP – Estradas de Portugal, E.P.E.  
<http://www.estradasdeportugal.pt> (consulta a 15-08-2009)
- *Pontis Applications and Models Presentations* – consulta a 25-07-2009  
<http://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/asstmgmt/pontis40.cfm>
- *Pontis Bridge Inspection Manual* (2007) - Michigan Department of Transportation
- prEN1991-1-2 (2002) - *Eurocode 1: Actions on structures- Part 2: Traffic loads on bridges*, European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- prEN1993-2 (2003) – *Eurocode 3: Design of steel structures- Part 2: Steel Bridges*, European Committee for Standardization (CEN), Final draft, Brussels.
- *Report No. FHWA-PD-96-001 - Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges*, 1995 - Federal Highway administration – U.S. Department of Transportation.
- *Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios* (1975), Decreto Lei nº 211/86 de 31 de Julho, Imprensa Nacional Casa da Moeda.
- *Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado*, Decreto Lei nº 349-C/83, de 30 de Julho, Porto Editora.
- *Repair and Strengthening of Old Steel Truss Bridges*, (1979)- American Society of Civil Engineers.



- 
- Ribeiro, Diogo Rodrigo Ferreira - *Comportamento Dinâmico de Pontes sob Acção de Tráfego Ferroviário a Alta Velocidade* - Dissertação de Mestrado FEUP, Dezembro 2004.
  - Ribeiro, Luís Fernando Vasconcelos – *Análise de Custos ao longo do ciclo de vida de Pontes Ferroviárias* - Dissertação de Mestrado Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Abril 2007.
  - RSA (1995) - *Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes*, Decreto-lei nº 235/83, de 31 de Maio, Porto Editora.
  - Ryall, M. J., (2001) - *Bridge Management*, Butterworth Heinemann, Oxford.
  - SAMCO - Final Report 2006, *Practical Bridge Management, Structural Assessment Monitoring and Control* - Consulta a 12-08-2007:  
[http://www.samco.org/network/download\\_area/bridge\\_management\\_1.pdf](http://www.samco.org/network/download_area/bridge_management_1.pdf)
  - Santos, N. (1998) - *Conservação e Reabilitação de Pontes Metálicas*, Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, para obtenção do grau de Mestre em Estruturas de Engenharia Civil, FEUP, Porto.
  - Seible, F., Hegemier, G., Wolfson, J., Conway, R., Arnett, K., Baum, J.D. (2006) - *Protection of our bridge infrastructure against manmade and natural hazards* - 3<sup>rd</sup> International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, International Association for Bridge Maintenance and Safety, Porto.
  - Shepard, Richard W., Jonhson, Michael B. (2001) – *A diagnostic tool to maximize bridge Longevity, Investment, California Bridge, Health Index*.
  - Söderqvist, Marja Kaarina, Veijola, Magnus - Finnish Project Level Bridge Management System – consulta a 16-05-2007 –  
[http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/circ498/v2\\_F05.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/circ498/v2_F05.pdf)
  - Sousa, H, Figueiras, H., Perdigão A., Félix, C., Figueiras, J. H. (2006) - *Sistemas integrados de monitorização estrutural e de durabilidade – Aplicação a estruturas da rede do Metro do Porto* - 4<sup>as</sup> jornadas portuguesas de Engenharia de Estruturas, 2006, Lisboa.
  - Söderqvist, Marja Karina, Veijola, Magnus - Finnish Project Level Bridge Management System - [http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/circ498/v2\\_F05.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/circ498/v2_F05.pdf) (consulta a 16-08-2007).

- Sustainable Bridges - *Assessment for Future Traffic Demands and Longer Lives*. <http://www.sustainablebridges.net/> (consulta a 16-08-2009).
- Sustainable Bridges - *Guideline for Inspection and Condition Assessment of Existing European Railway Bridges – 2007* - <http://www.sustainablebridges.net/> (consulta a 16-08-2009).
- Bridge Inspection Manual (2002) - Texas Department of Transportation <ftp://ftp.dot.state.tx.us/pub/txdot-info/gsd/manuals/ins.pdf> (consulta a 16-03-2006)
- Thompson, P.D., Patidar, V., Labi, S., Sinha, K., Hyman, W. A., Shrirolé, A. (2006)- *Multi-objective optimization for bridge management*, 3<sup>rd</sup> International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, International Association for Bridge Maintenance and Safety, Porto.
- Thompson, Paul D., Sobanjo, Jonh O. (2004) - *Project Level Analysis Tool*, prepared for State Maintenance Office, Florida Department of Transportation, Florida. <http://www.pdth.com/florida.htm>
- Thompson, Paul D., Shepard, Richard W. (2000) – *AASHTO Commonly-Recognized Bridge Elements, prepared for the National Workshop on Commonly Recognized Measures for Maintenance* – <http://www.pdth.com/images/coreelem.pdf>
- *Thompson, Paul, Hearn, George, Hyman, Bill (2008) – National Database System for Maintenance Actions on Highway Bridges.*
- UIC 774-3R (2001) – *Track/Bridge interactions. Recommendations for calculations*, 2<sup>nd</sup> Edition, International Union of Railways, Paris.
- UIC 776-1-R (1979) – *Charges à prendre en consideration dans le calcul des ponts rails*, Union Internationale des Chemins de Fer, 3<sup>e</sup> édition, Paris.
- UIC 776-3-R (1979) – *Déformation des Ponts*, Union Internationale des Chemins de Fer, 3<sup>e</sup> édition, Paris.
- UIC 778-1 – *Recommendations for the consideration of fatigue in the design of steel railway bridges, especially with orthotropic decks*, International Union of Railways, Paris.
- Xanthakos, Petros P. (1996) – *Bridge Strengthening and Rehabilitation*.