



Inspeção e Reabilitação de Pontes e Viadutos em Betão Armado na RAM

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil

Autor:

Rúben Fábio Abreu de Jesus

Orientador:

Paulo Silva Lobo

Coorientador:

Vítor Alexandre Rodrigues Brito

Funchal, fevereiro, 2015

“ Quando alimentamos mais a nossa coragem do que os nossos medos...
passamos a derrubar muros e a construir pontes”

Lígia Guerra

RESUMO

A presente dissertação insere-se na área da inspeção e da reabilitação de obras de arte, mais especificamente pontes e viadutos rodoviários. Uma das principais motivações para o desenvolvimento deste trabalho justifica-se pelo facto de existir na RAM um elevado número de obras de arte em proporção à sua área, sendo necessário cada vez mais investir em meios e conhecimento especializado na procura de formas economicamente interessantes de inspeção, diagnóstico, gestão da conservação e da monitorização dessas obras de arte.

O trabalho desenvolvido teve por objetivo identificar as principais anomalias de pontes e viadutos em betão armado, e, através do auxílio fornecidos por técnicas de inspeção, indicar intervenções preventivas e corretivas, visando a durabilidade dessas obras de arte.

Numa primeira fase, procurou-se enquadrar os conceitos relacionados com as anomalias de elementos em betão armado, bem como a importância da durabilidade, identificando os agentes e os mecanismos de deterioração, responsáveis pelas principais anomalias que se verificam nos diversos componentes de uma ponte ou viaduto.

A seguinte fase do trabalho consistiu na identificação dos principais métodos e procedimentos necessários para efetuar-se uma correta inspeção, tendo como objetivo avaliar a natureza e a extensão das anomalias, o que possibilita a definição de intervenções adequadas de manutenção, conservação e reabilitação.

Por fim, com base nas fichas de inspeção fornecidas pelas Betar¹, fez-se uma análise do estado de manutenção e do estado de conservação, bem como das anomalias mais frequentes, a um conjunto de pontes e viadutos RAM. Elaborou-se ainda um guia de anomalias com as principais patologias observadas na realização do estudo, contendo informação específica das causas mais prováveis, e dos trabalhos de manutenção e reparação recomendados para cada situação.

Palavras-chaves: Obras de arte, Anomalias, Inspeção, Manutenção, Conservação e Reabilitação, Sistemas de Gestão de Obras de Arte.

¹ Betar Consultores Lda., entidade responsável pelos trabalhos de inspeção nas obras de arte da Via Expresso e da Via Litoral.

ABSTRACT

This dissertation relates to the field of knowledge of inspection and rehabilitation of bridges and viaducts. One of the main motivations for the development of this work is related with the existence of a high number of bridges in Madeira, being necessary to invest in equipment and specialized knowledge in a search for economic solutions for inspection, diagnostic, and conservation management of such structures.

The work developed has the main purpose of identifying the most significant anomalies which occur in reinforced concrete bridges and, with the help of monitoring and inspection technics, to define preventive and corrective solutions, assuring the durability of bridges.

At start, the bibliographic review on the concepts related with reinforced concrete anomalies and durability was conducted. The agents and the mechanisms of deterioration were identified, for both concrete and steel, allowing to focus the study on the more relevant anomalies that can be found in the different components of bridges.

The following phase consisted in the identification of the most relevant methods and procedures necessary to conduct an adequate inspection, having as main purpose the evaluation of the nature and ways of propagation of the anomalies. This made it possible to define adequate maintenance, conservation and rehabilitation for the bridges in Madeira.

At last, based on the inspection reports supplied by Betar², a statistical survey of the maintenance and conservation state of a group of bridges located in Madeira was made, including the identification of the more frequent anomalies. An anomalies guide was created, indicating the main directives for the inspection of bridges and viaducts, focusing the anomalies that occur more frequency. Corrective procedures were also indicated.

Keywords: Bridges, Anomalies, Inspection, Maintenance, Conservation and Rehabilitation, Management Systems for Bridges.

² Betar Consultores Lda., responsible entity for the inspection works on bridges of Via Expresso and Via Litoral.

AGRADECIMENTOS

Ao Eng.º Paulo Silva Lobo, por ter aceitado ser meu orientador nesta dissertação, e por ter demonstrado uma paciência e disponibilidade inestimável em todas as situações. Agradeço todo o esforço, conselhos, recomendações e críticas, que foram muito importantes para a conclusão deste trabalho.

Ao Eng.º Vitor Brito, por ter disponibilizado toda a informação de que precisei, pela sua preciosa coorientação deste trabalho, bem como pelo tempo que me foi permitido passar na Betar, sem esquecer uma palavra de gratidão ao Eng.º Pedro Paulo e Eng.º Simão Santiago, da mesma empresa, pela ajuda e apoio prestado.

Ao Eng.º Jorge Pereira, administrador delegado da Vialitoral, por ter feito a ligação entre o autor e a Betar, permitindo o acesso à informação necessária para o desenvolvimento do trabalho.

Ao LREC, com quem dei os primeiros passos na área da engenharia civil e aprendi muito, nomeadamente ao meu orientador de estágio Eng.º César Lourenço e ao Eng.º Paulo França que possibilitaram uma experiência gratificante e o primeiro contato com algumas pontes da Região.

Aos meus tios, João e Lucinda, que foram fundamentais na minha educação, e na transmissão dos valores mais bonitos que posso ter. Foram e sempre serão, os meus exemplos, os meus Ídolos.

Aos meus pais, Sebastião e Bernardete, irmãs, Letícia e Cátia, e sobrinhos, Santiago, André e Francisca, pelo amor e carinho que me oferecem.

Aos meus colegas de curso, em especial ao João Gonçalves, pelo debate de ideias, pela amizade e companheirismo, tendo sido fundamental com a sua ajuda para a conclusão do trabalho.

E por último, mas em primeiro na minha vida, à minha mulher Joana que está comigo em todos os momentos, bons e menos bons, com as suas palavras, carinho, conforto, amor, compreensão, e alguma paciência. Obrigado por seres a obra de arte da minha vida.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE TABELAS.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vii
1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.1. Enquadramento geral	1
1.2. Motivação	2
1.3. Objetivos.....	2
1.4. Organização da dissertação.....	3
2. PONTES E VIADUTOS RODOVIÁRIOS.....	5
2.1. Evolução histórica.....	5
2.1.1. Da pré-história até ao Renascimento	5
2.1.2. Da revolução industrial até a atualidade	6
2.2. Redes rodoviárias e ferroviárias portuguesas	9
2.2.1. Contexto nacional	9
2.2.2. Contexto regional.....	14
2.3. Designações gerais.....	16
2.4. Tipologia e sistemas estruturais.....	18
2.5. Componentes mais comuns	19
2.6. Ciclo de vida	23
3. DURABILIDADE DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM BETÃO ARMADO	25
3.1. Betão armado enquanto material de construção	25
3.2. Durabilidade.....	26
3.2.1. Medidas adicionais para estruturas mais duráveis.....	27
3.2.2. Enquadramento normativo e especificações gerais	29
3.2.3. Tempo de vida útil	34
3.2.4. Requisitos de durabilidade.....	36
3.2.5. Projeto de durabilidade	36
3.3. Deterioração em estruturas de betão armado.....	37
3.3.1. Sintomas de deterioração	37
3.3.2. Agentes e causas de deterioração.....	39
3.3.3. Mecanismos de deterioração do betão armado	41
4. INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO	49
4.1. Sistema de Gestão de Obras de Arte.....	49
4.1.1. GOA®.....	51
4.2. Inventário	54

4.2.1. Planeamento	54
4.2.2. Procedimentos de recolha e registo de dados.....	55
4.3. Inspeção de Rotina	55
4.3.1. Procedimentos gerais	56
4.3.2. Avaliação do Estado de Manutenção:.....	58
4.4. Inspeção Principal	60
4.4.1. Procedimentos gerais	61
4.4.2. Avaliação do Estado de Conservação	64
4.5. Inspeção Especial.....	66
4.5.1. Tipos de ensaios realizados.....	67
4.5.2. Outros trabalhos que podem ser efetuados	69
4.6. Inspeção Subaquática.....	70
4.7. Modelo do ciclo das inspeções.....	70
5. ESTUDO E ANÁLISE DE UM CONJUNTO DE OBRAS DE ARTE.....	73
5.1. Amostra dos casos de estudo	73
5.2. Tipos de obras de arte	73
5.2.1. Estados de manutenção e trabalhos de manutenção.....	74
5.2.2. Estados de conservação e trabalhos de reparação	76
5.3. Pontes e Viadutos.....	78
5.3.1. Estado de manutenção.....	78
5.3.2. Estado de conservação	79
5.3.3. Custos atribuídos aos componentes	80
5.3.4. Análise individual dos componentes.....	80
5.3.5. Análise combinada dos componentes	90
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
6.1. Conclusões gerais.....	93
6.2. Contribuições ao tema desenvolvido	97
6.3. Desenvolvimentos Futuros.....	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
ANEXOS.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Exemplos de pontes desde a pré-história até ao Renascimento (Ryall, 2000)....	6
Figura 2-2 <i>Iron bridge</i> (Silva F. A., 1998)	7
Figura 2-3 Exemplos de pontes em aço (Silva P. , 2005).....	8
Figura 2-4 Exemplos de pontes em Portugal (Ferreira, 2011).....	9
Figura 2-5 Desenvolvimento da rede ferroviária em Portugal (adaptado de INE, 2014) ...	13
Figura 2-6 Desenvolvimento da rede rodoviária em Portugal (adaptado de INE, 2014) ...	13
Figura 2-7 Rede rodoviária concessionada na RAM (Via Expresso, 2014).....	15
Figura 2-8 Tabuleiros e apoios intermédios na Ponte do Vigário	20
Figura 2-9 Encontro oeste na Ponte dos 3 Paus.....	21
Figura 2-10 Tipos de guarda corpos	21
Figura 2-11 Pormenor de cornijas na Ponte do Vigário	21
Figura 2-12 Guarda de segurança central e lateral do viaduto do Comboio	22
Figura 2-13 Alguns tipos de aparelhos de apoio	22
Figura 2-14 Tipos de juntas de dilatação	23
Figura 2-15 Fluxograma do ciclo de vida de uma ponte (adaptado de Ryall, 2000).....	24
Figura 3-1 Influência da razão água/cimento na permeabilidade (CEB, 1992)	28
Figura 3-2 Definição do tempo útil (Costa A. , 2008).....	34
Figura 3-3 Vida útil e vida residual de uma estrutura de betão armado (CEB, 1992).....	35
Figura 3-4 Mecanismo de corrosão das armaduras (Lúcio, 2008)	41
Figura 3-5 Mecanismo de corrosão devido à penetração de cloretos (Lúcio, 2008).....	44
Figura 3-6 Mecanismo de corrosão devido à carbonatação (Lúcio, 2008).....	45
Figura 4-1 Diagrama de um sistema de gestão de obras de arte.....	51
Figura 4-2 Diagrama do funcionamento do sistema GOA®	53
Figura 4-3 Fluxograma proposto para a realização de uma inspeção de rotina.....	59
Figura 4-4 Fluxograma proposto para a realização de uma inspeção principal	66
Figura 4-5 Fluxograma proposto para a realização de uma inspeção principal	66
Figura 4-6 Fluxograma proposto para um modelo de ciclo de inspeções	72
Figura 5-1 Tipos de obras de arte analisadas e sua percentagem relativa	74
Figura 5-2 Estado de manutenção e necessidade de trabalhos de manutenção	74
Figura 5-3 Estado de conservação e necessidade de trabalhos de reparação	76

Figura 5-4 Estado de manutenção em pontes e viadutos e necessidade de trabalhos de manutenção	78
Figura 5-5 Estado de conservação em pontes e viadutos e necessidade de trabalhos de reparação	79
Figura 5-6 Custo dos trabalhos atribuídos por componente	80
Figura 5-7 Tipo de trabalhos de manutenção nos encontros e a sua distribuição relativa..	81
Figura 5-8 Tipo de trabalhos de reparação nos encontros e a sua distribuição relativa.....	82
Figura 5-9 Tipo de trabalhos de manutenção nos revestimentos de vias e a sua distribuição relativa.....	83
Figura 5-10 Tipos de trabalhos de manutenção em juntas de dilatação e a sua distribuição relativa.....	84
Figura 5-11 Tipos de trabalhos de reparação em juntas de dilatação e a sua distribuição relativa.....	84
Figura 5-12 Tipos de trabalhos efetuados em guarda corpos e sua distribuição relativa ...	85
Figura 5-13 Tipos de trabalhos efetuados em sistemas de drenagem e sua distribuição relativa.....	86
Figura 5-14 Tipos de trabalhos de manutenção atribuídos aos tabuleiros e sua distribuição relativa.....	87
Figura 5-15 Tipos de trabalhos de reparação em tabuleiros e sua distribuição relativa	88
Figura 5-16 Tipos de trabalhos executados nos aparelhos de apoio	89
Figura 5-17 Principais trabalhos de reparação efetuados em elementos de betão armado .	91

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1 Tipos de obras de arte (adaptado de Reis, 2002)	17
Tabela 2-2 Tipologia de ponte segundo o sistema estrutural longitudinal (adaptado de Reis, 2002)	19
Tabela 3-1 Classe de exposição ambiental segundo a NP EN 206-1 (CEN, 2004).....	31
Tabela 3-2 Quadro 6 da Especificação LNEC E 464 (CEN, 2004).....	32
Tabela 3-3 Quadro 7 da Especificação LNEC E 464 (CEN, 2004).....	32
Tabela 3-4 Quadros 8 da Especificação LNEC E 464 (CEN, 2004)	32
Tabela 3-5 Quadros 9 da Especificação LNEC E 464 (CEN, 2004)	33
Tabela 3-6 Quadro 11 da Especificação LNEC E 464 (CEN, 2004).....	33
Tabela 3-7 Valores indicativos do tempo de vida útil de projeto (CEN, 2002).....	35
Tabela 3-8 Principais sintomas de deterioração nas estruturas de betão armado (Costa A. , 2008)	38
Tabela 3-9 Causas da fissuração no betão (CEB, 1992).....	46
Tabela 3-10 Principais mecanismos de deterioração do betão e do aço (adaptado de DNIT, 2010 e Coutinho 1998)	47
Tabela 4-1 Principais situações a verificar numa inspeção de rotina (Betar, 2013)	57
Tabela 4-2 Avaliação do estado de manutenção (Betar, 2013)	58
Tabela 4-3 Exemplos de situações a verificar numa inspeção principal	61
Tabela 4-4 Avaliação dos parâmetros que influenciam o estado de conservação (Betar, 2013)	64
Tabela 4-5 Significado dos estados de conservação (Betar, 2013).....	65
Tabela 4-6 Principais ensaios realizados numa inspeção especial (Betar, 2013)	68
Tabela 5-1 Trabalhos de manutenção atribuídos	75
Tabela 5-2 Trabalhos de reparação atribuídos	77

LISTA DE ABREVIATURAS

OA	Obra de Arte
GOA[®]	Gestão de Obra de Arte
RAM	Região Autónoma da Madeira
DL	Decreto de Lei
VEP	Via Expresso
VLT	Via Litoral
EP	Estradas de Portugal
CP	Caminhos de Portugal
REFER	Rede Ferroviária Nacional
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LREC	Laboratório Regional de Engenharia Civil
RSA	Regulamento de Segurança e Ações para Edifícios e Pontes
REBAP	Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado
JAE	Junta Autónoma de Estrada
EM	Estado de Manutenção
EC	Estado de Conservação
PRN	Plano Rodoviário Nacional
ICERR	Instituto para a Conservação e Exploração da Rede Rodoviária
ICOR	Instituto para a Construção Rodoviária
IEP	Instituto de Estradas de Portugal

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1. Enquadramento geral

Em Portugal existe um grande património de pontes e viadutos, conhecidos em engenharia como obras de arte especiais, predominando as obras em alvenaria, seguidas das obras em betão armado e das obras em aço, estas em número reduzido. O aparecimento do betão e do aço fez com que as soluções em alvenaria fossem perdendo progressivamente competitividade.

Independentemente do material de construção escolhido, a deterioração ocorrerá com o passar do tempo. Isto deve-se principalmente à degradação natural dos materiais, à falta de inspeção e à inexistência de trabalhos periódicos de manutenção e de reparação, surgindo, como consequência, anomalias nos elementos. Para mitigar essa deterioração, é necessário haver uma concertação entre todos os intervenientes envolvidos no processo, desde a construção até à exploração, de modo que seja efetuada uma utilização adequada e racional dos recursos ao longo do ciclo de vida da estrutura.

Na Região Autónoma da Madeira (RAM), nas últimas duas décadas do século XX e na primeira década do século XXI, assistiu-se a um intenso desenvolvimento das vias de comunicação, incluindo a construção de pontes e viadutos. Existiu a necessidade de adotar medidas de atuação durante a fase de exploração, nomeadamente com trabalhos de manutenção e trabalhos de reparação que são resultado das atividades de inspeção. A preconização destes trabalhos deverá ser feita de forma individual para cada um dos componentes das obras de arte, determinando deste modo o custo total dos trabalhos necessários para assegurar um adequado desempenho durante a vida útil de um determinado componente.

Nos últimos anos, as obras de arte referidas têm sido alvo de inspeções e intervenções devidas ao seu estado de deterioração. Existem diversos procedimentos disponíveis relativamente aos trabalhos de inspeção, bem como técnicas e soluções de reparação das estruturas. Por esta razão, é fundamental identificar as soluções mais adequadas a cada situação.

Atualmente, é prática corrente a implementação de sistemas de gestão informatizados de obras de arte, possibilitando às entidades responsáveis obterem um conhecimento detalhado do seu património, quer ao nível do estado de manutenção, quer ao nível do estado de conservação, permitindo atribuir os trabalhos necessários para garantir a segurança e a durabilidade das respetivas estruturas.

1.2. Motivação

A motivação deste trabalho está associada à vontade de desenvolver um assunto que se considera pertinente no contexto atual da sociedade, procurando elaborar um trabalho que sirva de base a outros, para que se continue a desenvolver e a explorar este tema, uma vez que a informação e os trabalhos neste campo são muito diversificados.

A redação desta dissertação coincide com o aumento da preocupação na conservação e na manutenção das obras de arte, motivado por diversos fatores, entre os quais se destaca o número significativo de obras de arte na Região Autónoma da Madeira.

Outro motivo que está associado à realização deste trabalho é a particularidade de nas construções realizadas na Região Autónoma da Madeira terem sido frequentemente utilizados agregados contaminados com cloretos, a que se soma a significativa exposição de muitas obras a ambiente agressivos, o que resulta em alterações na durabilidade das estruturas.

A elaboração de um documento orientador torna-se útil e assume uma relevância para as obras de arte da Madeira. Para a sua aplicação, os trabalhos de inspeção são essenciais para se conhecer o real estado das estruturas e, assim, indicar os trabalhos de reabilitação necessários para garantir uma maior segurança e durabilidade.

1.3. Objetivos

A elaboração desta dissertação tem como objetivos identificar as principais anomalias que se pode observar nas pontes e nos viadutos rodoviários em betão armado, e, através de técnicas de inspeções e monitorizações, perceber o real estado de manutenção e de conservação dos seus componentes, indicando, se necessário, intervenções preventivas e corretivas de reabilitação, ou seja, trabalhos de manutenção e de reparação visando prolongar a vida útil dessas obras de arte.

Pretende-se igualmente alertar para a importância de se conhecer o real estado de manutenção e de conservação das obras referidas, de modo a poder-se atuar de forma eficaz e atempada.

Teve-se como objetivo a elaboração de um guia com as principais diretrizes para a realização de inspeções em pontes e viadutos, salientando as anomalias que podem verificar-se, bem como os trabalhos recomendados para a reparação das mesmas.

Para a realização destes objetivos, efetuou-se, durante um mês, aproximadamente, uma visita aos escritórios da Betar em Lisboa, a qual possibilitou conhecer os meios e os procedimentos que envolvem as atividades de inspeção e os trabalhos de intervenção recomendados por esta empresa. Salienta-se que a Betar é a entidade responsável pelos trabalhos de inspeção de um determinado conjunto de obras de arte na Madeira, concessionadas à Via Expresso e à Via Litoral.

1.4. Organização da dissertação

A presente dissertação foi dividida em seis capítulos. Apresenta-se seguidamente, de forma resumida, o conteúdo de cada um deles.

Neste primeiro capítulo, é feito o enquadramento geral do tema escolhido, bem como são apresentadas as motivações que levaram à sua escolha. Os objetivos definidos para a dissertação são igualmente descritos neste capítulo.

No capítulo 2, introduzem-se conceitos gerais sobre obras de arte, enquadrando as pontes e os viadutos nesta designação. Aborda-se a sua evolução histórica, tipologia e os sistemas estruturais mais comuns. Identificam-se ainda as várias etapas do ciclo de vida de uma obra de arte.

O terceiro capítulo tem como finalidade apresentar as anomalias, e as causas das mesmas, que estão associadas ao betão armado, identificando os agentes e os mecanismos responsáveis pela deterioração do betão e do aço. Refere-se ainda as anomalias que podem ser observadas nas diferentes etapas do ciclo de vida de uma ponte, bem como a importância da durabilidade para a vida útil de uma estrutura.

No capítulo 4 abordam-se os vários tipos de inspeção, referindo os procedimentos gerais, a instrumentação e os ensaios que podem ser utilizados nestas atividades. No desenvolvimento deste assunto, teve-se como referência, os procedimentos adotados pela

Betar e um sistema de gestão desenvolvido por essa empresa, designado por GOA[®] - Gestão de Obras de Arte. É referida ainda nesse capítulo a importância da implementação de um sistema de gestão de obras de arte.

No quinto capítulo apresenta-se uma análise estatística a um conjunto de pontes e viadutos existentes na Região Autónoma da Madeira, identificando-se as anomalias mais frequentes, bem como o estado de manutenção e de conservação dessas obras de arte. Essa análise foi realizada com base em relatórios de inspeções disponibilizados pela Betar.

No último capítulo, são referidas as conclusões gerais desta dissertação, bem como as contribuições que a mesma vem trazer ao tema abordado. O capítulo é concluído com propostas de desenvolvimentos futuros em torno deste tema e são feitas recomendações que têm como objetivo a indicar trabalhos necessários de inspeção e de reabilitação em pontes e viadutos.

2. PONTES E VIADUTOS RODOVIÁRIOS

2.1. Evolução histórica

A evolução das pontes e viadutos verificou-se quer ao nível do material utilizado quer ao nível do sistema estrutural considerado. Identificaram-se dois períodos dessa evolução: da pré-história até ao Renascimento, em que predominavam particularmente as pontes em madeira e pedra; da Revolução Industrial até à atualidade, em que começaram a surgir novos materiais na construção das pontes, nomeadamente o betão e o aço, possibilitando a adoção de novos sistemas estruturais (Ryall, 2000).

2.1.1. Da pré-história até ao Renascimento

Na idade da Madeira e da Pedra, as primeiras pontes foram surgindo devido à necessidade do Homem ultrapassar certos obstáculos, na exploração de novos territórios, bem como na procura de alimento e de abrigo. Sendo assim, as primeiras pontes eram constituídas por materiais disponibilizados pela Natureza, nomeadamente troncos de árvore e cabos torcidos de fibra vegetais amarrados nas margens em maciços rochosos naturais (Fig.2-1 a). Saliente-se que a madeira constituiu, na altura, um dos materiais preferenciais para a construção de pontes devido ao baixo peso específico, boa resistência e facilidade de ser trabalhada.

Com o surgimento da idade do bronze, devido à necessidade de construir estruturas mais duradouras, surgem as pontes em pedra, sendo que os primeiros relatos remontam ao ano de 1050 a.C., na China. No entanto, este sistema estrutural estava bastante limitado, porque, além do elevado peso dos elementos, existia o problema da menor resistência da pedra a tensões de tração (Maré, 2011).

Na Era Romana, no século III a.C., os romanos tinham conhecimento de que as estruturas de madeira submersas em água apresentavam uma vida útil curta e que tinham de encontrar uma alternativa a este material. É a partir da descoberta da argamassa de cal e do cimento pozolânico que os romanos iniciam uma nova técnica de construção de pontes em alvenaria de pedra, nomeadamente através de princípios teóricos de construção, em que denotavam uma preocupação com a implementação da simetria. Estes utilizavam arcos

iguais entre si com tabuleiro de perfil horizontal, pilares com espessuras que correspondiam a um $\frac{1}{4}$ do vão, de modo a conseguirem absorver os impulsos durante a construção. Este conhecimento permitiu desenvolver sistemas estruturais em arco, possibilitando vencer vãos que as vigas de pedra não podiam alcançar. Em Portugal existem muitos exemplos da influência Romana, como, por exemplo, a Ponte de *Trajano*, em Chaves (Fig.2-1 b).

A queda do Império Romano no século V resultou numa estagnação do desenvolvimento da construção das pontes, surgindo então a Idade Negra das pontes. É só na Idade Média que os monges transmitem os ensinamentos e tentam conservar as obras romanas, além de que lançam uma nova tendência que são as pontes fortificadas, as quais abrigavam capelas, oficinas e lojas. A grande contribuição da Idade Média para a técnica das pontes é a diversificação dos arcos, que passam a ser utilizados arcos ogivais, em detrimento de arcos semicirculares utilizados pelos romanos, não se preocupando em manter uma simetria nas suas estruturas, tentando alongar os arcos. Deste modo conseguem obter vãos variáveis e maiores (Ryall, 2000).

O renascimento trouxe igualmente a inovação e a arte de construir pontes que se espalhou por toda a Europa. Os construtores dessa época estavam bastante empenhados na tecnologia dos materiais, nas reduções do tempo de trabalho, bem como na quantidade de materiais obtidos. A ponte mais conceituada durante esse período foi a Ponte *Rialto*, concebida por António da Ponte em Veneza (Fig.2-1 c).



a. Ponte pré-histórica

b. Ponte Trajano, Chaves

c. Ponte Rialto, Veneza

Figura 2-1 Exemplos de pontes desde a pré-história até ao Renascimento (Ryall, 2000)

2.1.2. Da revolução industrial até a atualidade

Foi com a revolução industrial, no final do século XVIII, que se assistiu a uma grande evolução na construção de pontes. Novas formas de transporte em massa e o aumento da utilização do carvão foram fundamentais para o desenvolvimento da construção das pontes (Ryall, 2000). A transição das pontes em alvenaria para as pontes em ferro fundido deveu-se ainda à combustão do carbono em forno através de altas temperaturas. A descoberta do

cimento, em 1824, por Joséph Aspdin³, através da combustão do calcário e da argila, em Leeds, também foi determinante para esta fase, denominada de Idade do Ferro (1775-1880). A primeira ponte construída totalmente em ferro fundido, foi a “Iron bridge” (Fig.2-2), sobre o rio Severn, em Inglaterra, e foi construída em 1779 (Silva P. , 2005).

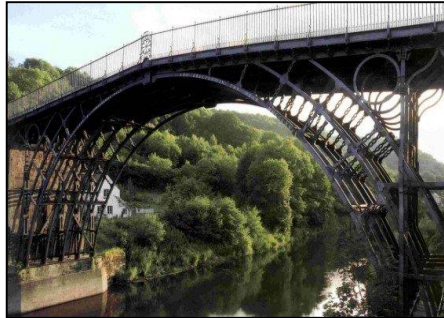


Figura 2-2 Iron bridge (Silva F. A., 1998)

As pontes em ferro, no caso particular da ferrovia, revelaram-se problemáticas, na medida em que as vibrações e as cargas dinâmicas provocadas pelas locomotivas pesadas criavam ciclos de tensão de amplitude significativa, dando origem a fenómenos de fadiga. Permitindo mitigar estes problemas, surge então o aço, que consiste num ferro refinado, no qual o carbono e outras impurezas são extraídos. Surgia assim a Era do Aço, em 1880, que contribui para um incremento na ductilidade e na resistência das estruturas das pontes (Silva P. , 2005).

Com este avanço, desenvolveram-se novos e mais competitivos sistemas estruturais, como, por exemplo, o arco treliçado (Fig.2-3 a), a treliça em viga de Gerber (Fig.2-3 b), as pontes suspensas (Fig.2-3 c) e as vigas com perfis e caixão em aço (Fig.2-3-d).

Ao mesmo tempo que se desenvolve a construção de pontes metálicas, os engenheiros começaram a conhecer o verdadeiro potencial do betão enquanto material de construção, chegando à conclusão de que o betão, ao ser utilizado conjuntamente com o aço, confere às suas estruturas maior resistência e ductilidade. As pontes em betão armado começavam a dar os primeiros passos em meados do século XIX (Ryall, 2000).

³ Empresário nascido em Inglaterra, fabricante de cimento que obteve a patente do cimento Portland a 21 de Outubro de 1824



a. Ponte de St. Louis



b. Ponte de Quebec



c. Ponte de Brooklyn



d. Ponte de Cologne Deutz

Figura 2-3 Exemplos de pontes em aço (Silva P. , 2005)

Em Portugal continental, a primeira ponte a ser construída em betão armado foi a ponte Luiz Bandeira (Fig.2-4 a) no vale do rio Vouga, em 1907 a obra foi concluída, é hoje considerada umas das pontes de betão armado mais antigas da Europa, uma ponte em arco que possui um vão com cerca de 44 m (Ferreira, 2011).

Até aos anos 60, os arcos em betão armado foram muito utilizados, sobretudo para grandes vãos, mas o domínio do betão armado foi totalmente transformado com o desenvolvimento do pré-esforço a partir dos anos 30, sendo que na década de 60 já se estavam a contruir pontes de betão armado pré-esforçado com mais de 100 m de vão. As próprias pontes em betão armado sofreram também um processo evolutivo nos seus sistemas estruturais.

Na Madeira, a evolução das pontes rodoviárias seguiu a mesma tendência, só que um pouco mais tardia, ou seja, até meados século XX ainda dominavam as pontes em alvenaria. De destacar uma ponte construída no Faial entre 1907 e 1910 (a maior ponte da ilha da Madeira até a data), tinha 130 metros e era conhecida como "ponte das sete bocas", pois era constituída por sete arcos em pedra. Esta ponte foi destruída por um temporal a 2 de Março de 1984, restando apenas ruínas da outrora obra de arte (Fig.2-4 b).



a. Ponte Luiz Bandeira

b. Ruínas de Ponte no Faial

Figura 2-4 Exemplos de pontes em Portugal (Ferreira, 2011)

O betão tornava-se, assim, num material de eleição na construção das maiores pontes do mundo. O relativo baixo custo do betão comparativamente ao aço juntamente com as suas características e vantagens, tornou o betão armado economicamente mais atrativo.

2.2. Redes rodoviárias e ferroviárias portuguesas

2.2.1. Contexto nacional

O desenvolvimento das pontes e dos viadutos não pode ser demarcado do desenvolvimento das redes rodoviárias e ferroviárias em Portugal. A sua história foi feita à custa de estratégias implementadas ao longo dos últimos séculos, influenciadas por fatores políticos, sociais e económicos. A evolução das redes rodoviárias e ferroviárias portuguesas pode ser dividida em cinco períodos (Eloi, Moldovan, & Marques, 2013):

- Antes de 1852;
- 1852 a 1910;
- 1910 a 1933;
- 1933 a 1985;
- 1985 até ao presente.

Até a segunda metade do século XIX, o povo português utilizava maioritariamente o transporte marítimo e o transporte por tração animal. Não havia qualquer tipo de rede ferroviária, apesar de existir uma rede de estradas que cobria as principais cidades. Naquele tempo, uma viagem entre Lisboa e Porto podia durar três dias. A maioria das estradas não

eram asfaltadas, e só algumas foram pavimentadas utilizando o macadame⁴. A primeira estrada de macadame construída em Portugal foi em 1824, em Lisboa.

O ano de 1844 ficou marcado como um ano histórico devido à criação da Companhia das Obras Públicas Portuguesa, foi uma entidade criada por um grupo de capitalistas que pretendiam estabelecer regras para realização de todas as grandes obras públicas e para a melhoria dos meios de comunicações do país. A 1 de Março de 1845, a empresa celebrou um contrato com o Governo, em que este confiava a execução das obras necessárias para melhorar as comunicações do país, ou seja, a abertura e a melhoria de várias estradas e a construção da primeira linha ferroviária. A Companhia das Obras Públicas Portuguesa tornava-se assim a primeira concessionária em Portugal, tendo sido concedida uma concessão por quarenta anos para as estradas e noventa e nove anos para as ferrovias. Apesar de tais privilégios, a empresa não foi capaz de seguir o seu plano e em finais de 1855, foi encerrada, tendo feito apenas estudos e construção de algumas estradas e linhas ferroviárias em Lisboa (Eloi, Moldovan, & Marques, 2013).

O período entre 1852-1910 é lembrado devido ao trabalho realizado por António Maria de Fontes Pereira de Melo⁵ e à construção da maior parte da rede ferroviária nacional. Em 1852, o Ministério das Obras Públicas é criado, dirigido por Fontes Pereira de Melo, cujo principal objetivo foi a elaboração de estudos, a fim de desenvolver o transporte ferroviário. Em 1853, o Governo Português assinou uma concessão com a Companhia Central Peninsular dos Caminhos de Ferro de Portugal, para construir uma ligação ferroviária entre Lisboa e Espanha, através da cidade de Santarém. Mais tarde, o Estado Português desistiu da concessão e assumiu a construção da ferrovia. A Companhia Real dos Caminhos de Ferro Portugueses, hoje chamada de CP (Comboios de Portugal, foi fundada em 11 de Maio de 1860. Em 1877, auge da construção ferroviária, a Ponte Maria Pia é inaugurada. Em 1889, a rede ferroviária tinha uma extensão estimada em 18.427 quilómetros. Note-se que, durante esse tempo, o patrulhamento e a limpeza eram realizados por operários da Companhia (Eloi, Moldovan, & Marques, 2013).

Em 1892, devido ao aumento das linhas ferroviárias e pontes, foi aprovada uma lei para criar o Conselho de Administração dos Caminhos de Ferro do Estado (Brigada de Revisão),

⁴ Sistema de pavimentação constituído por uma mistura de terra compactada, pedra britada, saibro e betume ou outros ligantes.

⁵ Foi um dos principais políticos portugueses da segunda metade do século XIX, tendo sido o 1º ministro das Obras Públicas. Considerado o “homem do ferro” pois foi o principal impulsionador da rede ferroviária em Portugal.

responsáveis por inspeções e trabalhos de manutenção (como pequenas reparações e limpeza).

O período entre 1910 e 1933 foi marcado por uma época de instabilidade política e pela ascensão da indústria automóvel. Depois da revolução de 1910, a primeira República Portuguesa reconhecia a importância que devia ser dada a questões de segurança nas pontes, e em 1912 o Estado declarava que era necessário criar uma comissão de especialistas universitários para abordar o tema da segurança nas pontes.

Em 1927 era criada a Junta Autónoma das Estradas (JAE) com a finalidade de organizar e desenvolver a rede de estradas.

O período entre 1933 e 1985 é marcado pela visão do Eng. Duarte Pacheco⁶, no desenvolvimento da rede rodoviária. Em 1933, Duarte Pacheco cria uma comissão para analisar propostas para a construção de uma ponte entre Lisboa e a margem sul do rio Tejo, atualmente denominada Ponte 25 de Abril, mas razões políticas e económicas atrasaram a sua construção e inauguração, ocorrida a 6 de Agosto de 1966.

Em 1948, é criada a Direção dos Serviços de Pontes, com a tutela dos trabalhos de conservação das pontes, sendo claramente um primeiro sinal de que, além da construção, era necessário assegurar uma manutenção das pontes em Portugal. Nessa altura a JAE tinha já quatro equipas responsáveis pelos respetivos trabalhos de manutenção e pequenas reparações.

Devido ao crescimento da rede de estradas e com a necessidade de reduzir o tempo de viagem entre as principais cidades do país, em 1972 era criada a Brisa - Autoestradas de Portugal, SA (Brisa), vocacionada para a construção, operação e manutenção da rede rodoviária. Três anos mais tarde a CP era nacionalizada.

No início da década de 1980, a JAE sofre uma reestruturação e acaba com a Direção dos Serviços de Pontes. Como principal consequência deste acontecimento, a maioria dos serviços de manutenção e conservação foram confiados a empresas do setor privado.

⁶ Engenheiro Civil formado no Instituto Superior Técnico em 1923, que presidiu o ministério da Obras Públicas e Comunicações, e a Câmara Municipal de Lisboa. Foi o grande impulsionador da expansão e conservação da rede rodoviária nacional.

O período entre 1985 e os dias atuais é marcado pela integração de Portugal na União Europeia e pela chegada de financiamento para a construção e desenvolvimento de novas estradas e infraestruturas. Em 1985, um ano antes da integração de Portugal na União Europeia, é elaborado o Plano Nacional Rodoviário 85. Em 1991, a Brisa completa a autoestrada A1 entre Lisboa e Porto. Nesta altura, já eram efetuados inventários (ver anexo A) e inspeções (ver anexo B) em que se descreviam detalhes estruturais sobre as pontes, além de que o inspetor prescrevia trabalhos de manutenção (neste caso, limpeza do sistema de drenagem).

Na década de 90, a CP também passou por uma mudança da estratégia na gestão das pontes, envolvendo a reorganização das equipas de inspeção, com redução do número de pessoas envolvidas nas atividades e a extinção de uma oficina em Ovar, que apoiava logisticamente as atividades de manutenção realizadas nas pontes por todo o país. A reorganização da CP levou à criação de quatro equipas responsáveis pela inspeção e manutenção das pontes localizadas exclusivamente no Porto, Guarda, Lisboa e Faro. Essas equipas eram responsáveis por inspeções de rotina anuais e estavam encarregadas de atividades básicas de manutenção.

Em 1997, a REFER foi criada como uma empresa de serviço, responsável pela gestão da rede ferroviária em Portugal. Nesta altura, a CP torna-se exclusivamente numa operadora de serviços de transporte de passageiros.

Em 1998, um novo Plano Rodoviário Nacional - PRN 2000 - foi aprovado, consistindo essencialmente numa otimização do PNR 85, além de que é inaugurada a Ponte Vasco da Gama. No mesmo ano, a JAE é dividida em três Institutos: Instituto das Estradas de Portugal (IEP), responsável para a regulação e supervisão do sector rodoviário nacional, Instituto para a Construção Rodoviária (ICOR), responsável pelas obras de construção de estradas e pontes, e Instituto para a Conservação e Exploração da Rede Rodoviária (ICERR), entidade responsável pelas obras de manutenção e conservação.

No entanto, no dia 4 de março de 2001, a tragédia de Entre-os-Rios mostrou as deficiências na gestão das pontes realizada em Portugal. Em resposta, de abril a junho do mesmo ano, o ICERR lançou um programa de inspeções de emergência. Depois de 349 inspeções, três pontes foram fechadas e restrições de limite de carga/velocidade foram aplicadas em cinquenta e seis pontes.

Em 2004, o ICOR, o ICERR e o IEP eram fundidas numa única entidade: Estradas de Portugal (EP), concessionária que tinha como objetivos a conceção, o projeto, a construção, o financiamento, a conservação, a exploração, a requalificação e o alargamento das vias que integram a Rede Rodoviária Nacional.

A figura 2-5 mostra um desenvolvimento exponencial da rede ferroviária desde 1853 até 1974, assistindo-se depois a um decréscimo até 1998, fruto do encerramento de algumas linhas ferroviárias, mantendo-se praticamente constante a extensão da malha ferroviária, derivado ao desinvestimento neste tipo de rede de transporte.

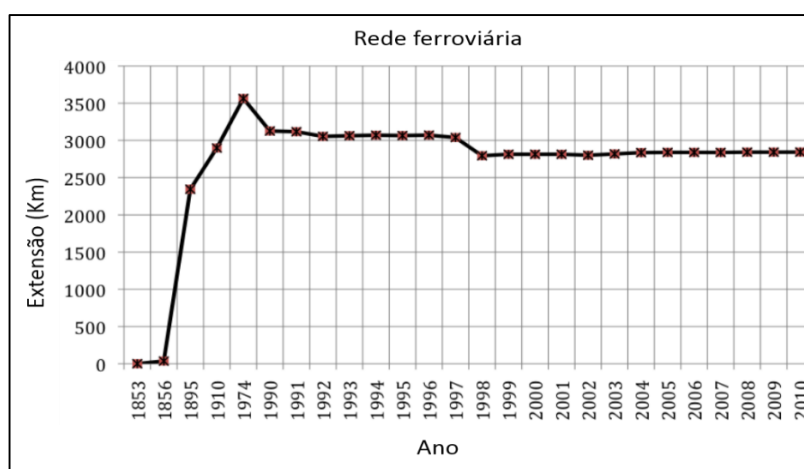


Figura 2-5 Desenvolvimento da rede ferroviária em Portugal (adaptado de INE, 2014)

A figura 2-6 retrata o desenvolvimento da rede rodoviária verificado a partir de 1960, resultante da política de fomento das estradas e autoestradas nacionais, em que se verificou um aumento da rede nos últimos anos, em virtude da aposta numa política de desenvolvimento das vias de comunicação em Portugal

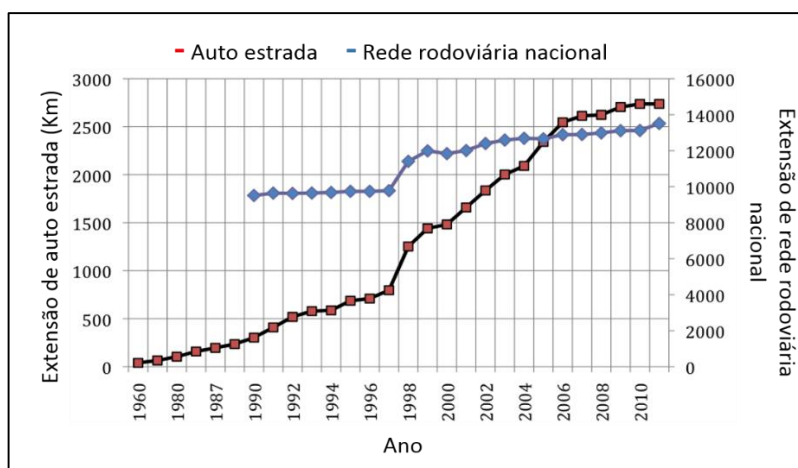


Figura 2-6 Desenvolvimento da rede rodoviária em Portugal (adaptado de INE, 2014)

Atualmente, todas as concessionárias portuguesas, incluindo a EP e a REFER, utilizam um sistema de gestão de obras de arte (GOA®) como uma base de dados, contendo todas as informações relevantes das suas estruturas especiais e correntes, além de possuírem todos os relatórios de inspeções realizadas bem como os trabalhos de manutenção e de reparação recomendados.

2.2.2. Contexto regional

A mobilidade na Ilha da Madeira foi sempre um problema, resultado da orografia muito acidentada. Até finais do século XIX, os madeirenses utilizavam maioritariamente o transporte marítimo à volta da ilha e o transporte por tração animal. Não havia qualquer tipo de rede ferroviária, até 16 de julho de 1893, data que marcou a inauguração do Caminho de Ferro, via ferroviária de sentido único que chegou a ter 3850 metros de extensão, ligando o Pombal ao Terreiro da Luta, mas que acabou por ser encerrada em 1943 (Guerra, 2010).

O primeiro grande passo para a modernização da rede de estradas foi dado a 14 de Abril de 1936 com a criação do Decreto nº 28592, que tinha por objetivo estabelecer um plano de trabalhos para a execução complementar das estradas na Ilha da Madeira, estabelecendo diretrizes para conceber um “anel rodoviário” à volta da ilha. Em Junho de 1953, a inauguração do Túnel Eng.º Duarte Pacheco, com 395 m, que liga as localidades Arco de São Jorge e Boaventura, a ER101, com cerca de 200 Km, fecha o “anel rodoviário” à volta da Ilha da Madeira (Silva F. A., 1998).

O grande acontecimento que possibilitou o maior desenvolvimento das pontes e viadutos na Madeira foi o início da construção da via rápida entre os concelhos da Ribeira Brava e Machico, em 1989, que levou à construção de 135 pontes e viadutos, e mais de uma centena de tuneis, estruturas essas que têm agora custos de exploração e de manutenção. De entre as obras de arte construídas, destaca-se a ponte dos Socorridos, com um vão principal de 106 metros e pilares que atingem os 120 metros de altura, bem como a ponte de João Gomes, com um vão principal de 125 metros e pilares com altura de 140 metros.

Como resultado desse acontecimento, houve a necessidade de regular as entidades que ficariam responsáveis pela gestão (i.e. exploração e manutenção) dessas novas obras de arte. Nesse sentido, e de acordo com o Dec. Lei nº21/1999 de 24 de Agosto, a Assembleia Legislativa Regional decretou a criação da concessionária Via Litoral, estabelecendo as bases da concessão do troço entre a Ribeira Brava e Machico, e, mais tarde, estendeu as

bases da concessão até ao Caniçal, de acordos com o Dec. Lei nº 4/2011 e o Dec. Lei nº 27/2001.

Com o desenvolvimento das vias de comunicação na Região Autónoma da Madeira, nomeadamente com a criação de mais vias rápidas, a Assembleia Legislativa Regional decretou, em 13 de janeiro de 2004, a criação da concessionária Via Expresso, adjudicando-lhe diversos troços de estradas regionais, de acordo com o Dec. Lei nº 1/2004 de 13 de Janeiro.

Na figura seguinte (Fig.2-7) ilustra-se a disposição geográfica da rede rodoviária concessionada na RAM. Esta é composta por uma via rápida com 44,198 quilómetros de extensão, fazendo a ligação entre o Caniçal e a Ribeira Brava, concessionada à Via Litoral, e por sete secções distribuídas pela ilha, além de outros troços associados constituídos pelos trechos antigos da ER 101⁷, perfazendo uma rede com 93,500 quilómetros de estrada, concessionada à Via Expresso.



Figura 2-7 Rede rodoviária concessionada na RAM (Via Expresso, 2014)

Em relação às duas redes rodoviárias concessionadas, cabe aos inspetores da Betar inspecionar todas as obras de arte. Em relação às restantes obras de arte existentes na RAM, cabe às respetivas entidades municipais a realização das tarefas de conservação, manutenção e inspeção.

⁷ Estrada Regional entre São Vicente e Porto Moniz

2.3. Designações gerais

É fundamental para os intervenientes nos trabalhos de inspeção, terem formação específica na área, de modo a possuírem conhecimento dos procedimentos a serem efetuados nas atividades de inspeção bem como dos parâmetros envolvidos na avaliação dos estados de manutenção e conservação das estruturas, de forma a haver uma uniformidade de critérios entre os diferentes inspetores: Com isto torna-se importante saber toda a informação relativamente às obras de arte.









Uma ponte é uma estrutura que permite o atravessamento de uma via de comunicação sobre uma linha de água (i.e. um vale ou uma depressão de terreno com curso de água), enquanto um viaduto intercepta um vale seco ou uma linha de água de pequena importância, ou uma ou mais vias de comunicação (Reis, 2002).

As pontes, juntamente com os viadutos, classificam-se como obras de arte, designação essa que tem vindo a ser aplicada ao longo do tempo às obras nas vias de comunicação. Uma obra de arte é definida, então, como sendo uma estrutura constituída por vários elementos estruturais de acordo com as disposições de um projeto, que possui um vão superior ou igual a 2,0 m ou um desenvolvimento total superior a 5,0 m, permitindo o estabelecimento de uma via de comunicação (Pedro, 2007).

Pode-se distinguir as obras de arte correntes das especiais. Nas especiais encontram-se as pontes, viadutos e túneis, enquanto nas obras de arte correntes, identificam-se passagens agrícolas, passagens hidráulicas, superiores, inferiores e de peões.

Na tabela 2-1 agrupam-se e identificam-se as principais OA, tendo em consideração a hierarquização das vias intersectadas.

Tabela 2-1 Tipos de obras de arte (adaptado de Reis, 2002)

	Tipo de OA	Designação	Ilustração
CORRENTES	Passagem Agrícola	A via principal passa sobre a OA e a via intersectada é um caminho rural.	
	Passagem Hidráulica	A via principal passa sobre a OA e a via intersectada é um curso de água.	
	Passagem Superior	A via principal passa sob a OA.	
	Passagem Inferior	A via principal passa sobre a OA.	
	Passagem de Peões ou Passadiço	A via intersectada é usada apenas para tráfego pedonal.	
ESPECIAIS	Viaduto	A via principal passa sobre a OA, podendo existir mais do que uma via intersectada ou apenas um vale seco.	
	Ponte	A via principal passa sobre a obra de arte, não existindo via intersectada, mas sim um curso de água. Saliente-se a existência de pontões, que são pontes que possuem vãos geralmente compreendidos entre 2 e 5 m.	
	Túnel	A via principal passa sob a OA, não existindo nenhuma via sobre a OA.	

Por razão de simplicidade, utilizar-se-á a designação genérica “ponte” para fazer referência a pontes propriamente ditas e a viadutos.

2.4. Tipologia e sistemas estruturais

Uma questão fundamental nas inspeções de pontes é a identificação do tipo de estrutura em análise, possibilitando a elaboração de uma base de dados (Inventário) adequada. Como tal, pretende-se abordar, de forma resumida, as principais tipologias e os sistemas estruturais que se pode encontrar nas obras de arte.

As diferentes tipologias e sistemas estruturais que podemos observar nas obras de arte são motivadas por diferentes fatores, tais como os diferentes materiais utilizados e a diferente tecnologia associada ao “*know-how*” da época. Os diferentes desafios impostos pelos condicionalismos topográficos e os meios económicos existentes também são responsáveis pela escolha da tipologia a utilizar numa obra de arte.

As pontes podem ser classificadas mediante diversos critérios, entre os quais se destacam:

- a) **Utilização:** consoante o tipo de tráfego utilizado, as pontes podem ser rodoviárias, ferroviárias, aeroviárias, pedonal (passadiço) ou canal;
- b) **Material estrutural:** mediante a escolha do material estrutural utilizado, as pontes podem ser em alvenaria, madeira, betão armado, betão armado e pré-esforçado ou metálicas;
- c) **Sistema estrutural transversal:** das seções transversais existentes destacam-se os tabuleiros com laje maciça, vazada, vigada ou em caixão;
- d) **Sistema estrutural longitudinal:** uma das escolhas mais importantes para o projetista é a escolha do sistema estrutural longitudinal adotado.

De entre a variedade de sistemas estruturais, podemos referir a existência de 3 grandes grupos:

- pontes em viga;
- pontes em arco;
- pontes de cabos.

Na tabela seguinte, é descrito as principais tipologias que podemos em pontes ou viadutos de betão armado.

Tabela 2-2 Tipologia de ponte segundo o sistema estrutural longitudinal (adaptado de Reis, 2002)

Tipologia		Descrição	Ilustração
Pontes em viga	Simplemente apoiada	São constituídos por vigas colocadas umas às outras, estas vigas vencem a distância entre os apoios e suportam o peso do tabuleiro	
	Viga contínua (em pórtico)	As vigas apoiam simplesmente nos apoios, absorvendo os efeitos dos movimentos e dilatações térmicas	
Pontes de cabos	Suspensa	O peso do tabuleiro e das cargas são transmitidos aos cabos por múltiplos pendurais, geralmente verticais	
	Atirantada	Os elementos fundamentais da estrutura resistente são os tirantes, que proporcionam uma série de apoios intermédios, sendo necessárias torres (mastros) para elevar o apoio fixo dos tirantes	
Pontes em arco	Superior	O arco superior, sempre fortemente comprimido, é interiormente autoequilibrado pelo tabuleiro tracionado, que funciona como um tirante	
	Inferior	O arco encontra-se inferiormente ao tabuleiro, o arco funciona como elemento fundamental de suporte do tabuleiro	

2.5. Componentes mais comuns

Uma ponte é constituída principalmente por duas partes, pela superestrutura e pela infraestrutura (Reis, 2002). A superestrutura é a parte da ponte que vence o vão, integra o

tabuleiro que suporta o pavimento da via de comunicação, e no caso existirem, vigas primárias, vigas secundárias, arco superior/inferior, tirantes, cabos e pendurais. A infraestrutura é a parte responsável por transmitir ao solo as cargas introduzidas na superestrutura pelas ações permanentes, variáveis e acidentais. A infraestrutura integra os encontros, os apoios intermédios (pilares) e as fundações.

De realçar que as duas partes referidas anteriormente devem constituir um sistema estrutural estável e resistente, em que as alterações de geometria da superestrutura, devidas às ações térmicas, de retração, de pré-esforço, de fluência e de assentamento de apoios, possam ser acomodadas em boas condições de funcionamento da ponte.

Para efeito de simplificação e de registo, é necessário recorrer à divisão de uma ponte em vários componentes. No caso mais geral, divide-se em quinze componentes, em que cada componente pode ser dividido em vários elementos, são estes componentes que serão alvo de inspeções periódicas, sendo sujeitos a avaliação dos seus estados, quer de manutenção quer de conservação, para os quais serão atribuídos trabalhos de manutenção e de reparação. Por isso, torna-se importante identificar os componentes e os respetivos elementos. Atendendo ao facto deste estudo ser direccionado para pontes em betão armado, em seguida referem-se sucintamente os principais componentes das pontes:

- **Tabuleiro e apoios intermédios (pilares):** o tabuleiro é o componente solicitado por ações verticais (peso próprio, restantes cargas permanentes e sobrecargas) e horizontais (vento e sismo), enquanto os apoios intermédios são responsáveis por transmitir as cargas do tabuleiro para as fundações (Figura 2-8);



Figura 2-8 Tabuleiros e apoios intermédios na Ponte do Vigário

- **Encontro:** componente que estabelece a ligação entre a OA e a via de comunicação que lhe dá acesso por meio de um aterro. Tem como funções suportar as cargas verticais e horizontais transmitidas pela superestrutura, transmitindo-as ao solo de fundação, e suportar os impulsos de terras transmitidas pelo solo adjacente (Figura 2-9);



Figura 2-9 Encontro oeste na Ponte dos 3 Paus

- **Guarda corpos:** elementos que ladeiam os bordos do tabuleiro, normalmente colocados sobre a cornija. São elementos destinados à segurança dos peões. Podem ser constituídos por diversos tipos de materiais, de entre os quais destacam-se os de aço (Figura 2-10 b). Saliente-se a existência de guarda corpos, em fibras de vidro, que acumulam a função de barreiras acústicas (Figura 2-10 a);



a. Fibras de vidro, no viaduto do Comboio



b. Aço, na ponte do Vigário

Figura 2-10 Tipos de guarda corpos

- **Cornijas:** Componente também conhecido como viga de bordadura (Figura 2-11), São usadas para suportar os guarda corpos e também para disfarçar as imperfeições geométricas da construção do tabuleiro. Podem ser prefabricadas ou betonadas “in situ”;



Figura 2-11 Pormenor de cornijas na Ponte do Vigário

- **Guardas de segurança:** São elementos que se pode encontrar como guarda central ou lateral do tabuleiro. Destinam-se à segurança dos veículos, de modo a evitar que estes saiam da ponte. Por outro lado, são elementos de sinalização, pois indicam claramente o traçado da via. Os tipos mais comuns são os perfis metálicos tipo “W”, visíveis na guarda lateral direita da figura 2-12 e as guardas tipo “New- Jersey”, visíveis na guarda de segurança central da mesma figura.



Figura 2-12 Guarda de segurança central e lateral do viaduto do Comboio

- **Aparelhos de apoio:** são dispositivos que asseguram a transmissão de cargas do tabuleiro para os apoios (pilares e encontros), permitindo eventuais movimentos relativos. Dos vários tipos de aparelhos de apoio existentes, destacam-se os fixos tipo panela (Figura 2-13 a) e os de neoprene cintado (Figura 2-13 b). Saliente-se que a base do aparelho de apoio, em geral de betão armado, designa-se por plinto.



a. Tipo panela, na ponte João Gomes



b. Tipo neoprene, na ponte do Porto Novo

Figura 2-13 Alguns tipos de aparelhos de apoio

- **Juntas de dilatação:** têm como finalidade garantir a continuidade do pavimento. São dispositivos deformáveis que permitem assegurar a transição entre o tabuleiro e os encontros, ou entre dois tabuleiros contíguos. Este componente está sujeito a grande desgaste e deve ser projetado para resistir às ações dinâmicas e abrasivas do trânsito, aos agentes atmosféricos e para comportar os deslocamentos relativos devidos à retração, à fluência dos materiais e às variações térmicas. Nas pontes da Madeira, destacam-se as juntas de dilatação em módulos de neoprene armados (Figura 2-14 a) e as juntas de dilatação tipo pente metálico (Figura 2-14 b)



a. Módulos de neoprene, na ponte João Gomes

b. Pente metálico, na ponte do Vigário

Figura 2-14 Tipos de juntas de dilatação

2.6. Ciclo de vida

No ciclo de vida de uma ponte, pode-se distinguir seis fases: concepção, estudos e análise, projeto de execução, construção, exploração e demolição (Ryall, 2000). Na figura 2-15 enquadraram-se num fluxograma as fases mais comuns do ciclo de vida de uma ponte.

Na fase de concepção é concebida a estrutura de acordo com as exigências técnicas e características estabelecidas, definindo-se os materiais e as soluções mais apropriadas com base na regulamentação em vigor, garantindo durabilidade às estruturas (tema desenvolvido no capítulo 3).

Nas fases de estudos e de projeto de execução, com vista à prevenção de anomalias na estrutura, é elaborado modelos de simulação dos mecanismos de degradação, disposições construtivas, previsão da realização de inspeções e análise das condições ambientais.

Na fase de construção, a fiscalização assume um papel fundamental no controlo da execução da obra, alertando para os problemas que vão surgindo.

Na fase de exploração é necessário recorrer à utilização de um sistema de gestão de OA (tema desenvolvido no capítulo 4), de modo a serem planeadas inspeções periódicas e ações de manutenção e de reparação na estrutura.

A fase de demolição surge quando as estruturas deixam de desempenhar as funções para as quais foram projetadas.

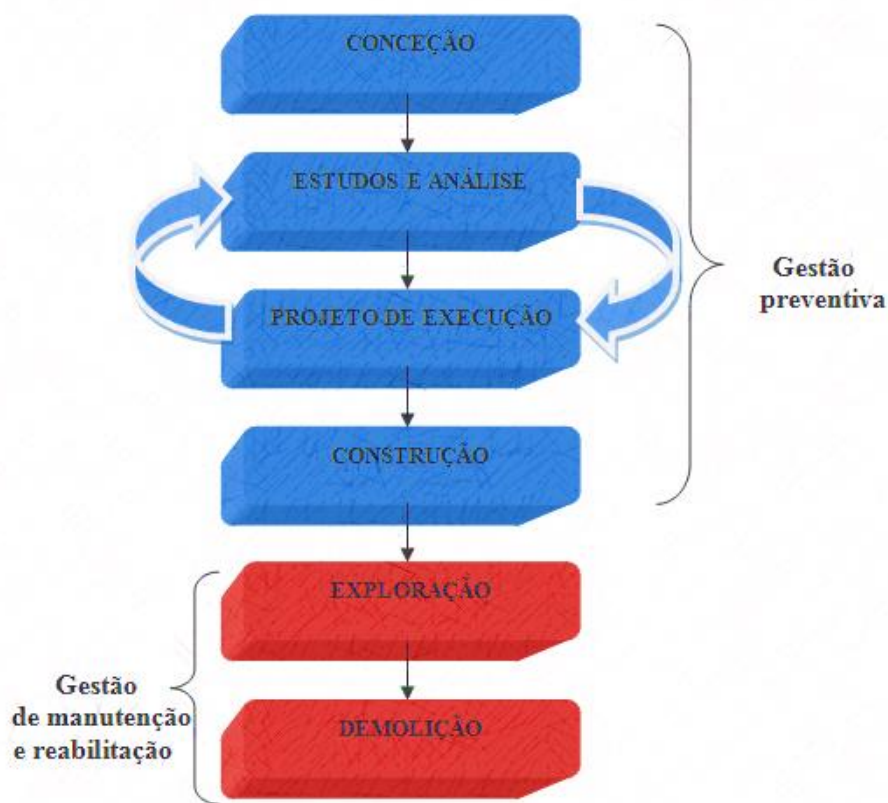


Figura 2-15 Fluxograma do ciclo de vida de uma ponte (adaptado de Ryall, 2000)

As pontes assim como qualquer obra de engenharia, devem garantir condições de estabilidade e durabilidade durante um período de vida previamente estabelecido, desde a sua concepção até a fase de exploração, assegurando deste modo a obtenção de uma estrutura com segurança e bom desempenho em todas as fases do seu ciclo de vida, permitindo assim uma correta gestão na manutenção e na conservação das obras de arte.

3. DURABILIDADE DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM BETÃO ARMADO

“...o betão e o betão armado marcam a sua presença no século XX. Mas até quando? Infelizmente tudo leva a crer que a sua duração será efémera. A elevada alcalinidade, e a elevada energia interna resultante, torna-o num material instável” (Cóias, 2006).

As pontes e os viadutos estão sujeitos à ação de diversos fenómenos que podem dar origem a várias anomalias, também designadas por patologias. Quando aplicado à engenharia civil, este último termo designa os fenómenos e mecanismos de deterioração do material, afetando o comportamento de uma construção, reduzindo o seu desempenho previsto (DNIT, 2010).

A deteção e controlo das patologias são determinantes nos procedimentos de inspeção. Neste sentido, é fundamental identificar as anomalias associadas aos diversos componentes de uma ponte, bem como os processos e mecanismos de deterioração do betão armado.

3.1. Betão armado enquanto material de construção

Atualmente, o betão armado é um dos materiais de construção mais utilizados em todo o mundo, isto apesar de apresentar uma degradação precoce em relação aos outros materiais de construção, devido ao facto de depender da qualidade dos seus constituintes, da mão-de-obra, das condições ambientais a que está exposto, entre outros. Em contrapartida, é um material muito apreciado pela sua versatilidade, adaptando-se aos mais diversos requisitos, mantendo uma competitividade em termos económicos, tornando o custo do betão armado muito competitivo face ao aço (Lourenço & Mendes, 2009).

O comportamento do betão armado reside numa simbiose entre o betão e o aço. O betão resiste bem à compressão, mas, em contrapartida, possui uma fraca resistência à tração. É o aço que, sob a forma de varões colocados no seu interior, compensa essa característica, permitindo ao elemento, como um todo, resistir aos esforços internos de tração. O aço, apesar de desempenhar as suas funções resistentes, quando exposto aos agentes do meio ambiente,

sofre deterioração, pelo que beneficia da relação simbiótica que possui com o betão, pois este envolve-o e protege-o com a sua alcalinidade (Cóias, 2006).

A utilização do material betão armado na construção pode ser problemática, se não se conhecer as características do meio envolvente, bem como as características dos materiais e dos equipamentos a utilizar. Pelo exposto, é fundamental perceber que a utilização do betão, enquanto material de construção, apresenta vantagens e desvantagens (Cóias, 2006).

As principais vantagens do uso do betão armado como material de construção são:

- boa trabalhabilidade (fácil adaptabilidade em termos geométricos);
- disponibilidade de matéria-prima;
- diversidade nas aplicações;
- resistência ao fogo, incombustibilidade;
- economia em relação a outros materiais;
- durabilidade;
- rigidez;
- boa resistência às ações mecânicas (esforços de tração/compressão).

As principais desvantagens são:

- baixo isolamento térmico;
- elevado peso próprio ($\approx 2500 \text{ kg/m}^3$);
- impacto ambiental significativo, nomeadamente com exploração de pedreiras, produção de RCD, e sobretudo no processo de produção de cimento, devido à emissão de gases poluentes sobretudo do dióxido de carbono (CO_2), contribuindo para o aumento de emissão de gases de efeito de estufa;
- baixo índice de resistência por unidade de volume, implicando estruturas de maiores dimensões.

3.2. Durabilidade

As anomalias podem surgir à custa da deterioração ou de um processo de envelhecimento de uma estrutura de betão armado, ou seja, em alterações das suas propriedades (mecânicas, físicas e químicas). Antes de identificar os mecanismos de deterioração do material, surge a necessidade de perceber os conceitos relativos à durabilidade. A não consideração desta característica, na fase de projeto, resulta num aumento do custo da conservação ao longo da vida útil da obra, sendo fundamental

selecionar medidas de proteção que controlem ou evitem os mecanismos de deterioração precoce (CEB, 1992).

A durabilidade pode ser definida como a aptidão de uma estrutura para desempenhar as funções para que havia sido concebida (i.e. requisitos funcionais nomeadamente, desempenho, segurança, resistência e funcionalidade), durante o período previsto, sem que para tal seja necessário despender custos de manutenção e reparação não previstos ou elevados (CEN, 2004).

3.2.1. Medidas adicionais para estruturas mais duráveis

Em fase de projeto de uma estrutura de betão armado, para além de se considerar o seu dimensionamento em função das cargas a que estará sujeita, é necessário definir o ambiente a que a estrutura estará exposta. Definido o ambiente de exposição e conhecidos os mecanismos e os agentes de deterioração, poderão ser adotadas medidas adicionais para assegurar uma maior durabilidade às estruturas de betão (Coutinho, 1998).

Antes de enunciar essas medidas, é fundamental referir a permeabilidade do betão. A permeabilidade reflete a maior ou menor facilidade com que o material se deixa atravessar por gases e líquidos. No betão, é um sistema de poros o responsável pelo mecanismo de transporte. Para dificultar este mecanismo e tornar o betão num material menos permeável, é necessário considerar a razão água/cimento, condições de aplicação, compactação e proteção adicional (e.g. pintura betuminosa e aplicação de outros materiais impermeabilizantes) de modo a impedir o acesso de líquidos ou gases agressivos ao betão de recobrimento (Mills, 1987). Saliente-se que a permeabilidade é uma característica que influencia as medidas seguintes, visto que o que se pretende é reduzir a permeabilidade do betão aos agentes agressivos, evitando o desenvolvimento da deterioração dos materiais (DNIT, 2010).

- **Relação água/ligante**

Em relação à relação água/ligante, a permeabilidade aumenta exponencialmente a partir de uma razão A/c de 0.6, em virtude da proliferação de poros formados pelo excesso de água (CEB, 1992). Na figura seguinte, relaciona-se a permeabilidade da água com várias relações água/cimento. Desta forma, é recomendado relações A/c baixas (menor que 0.50), controlando a trabalhabilidade, recorrendo a adjuvantes.

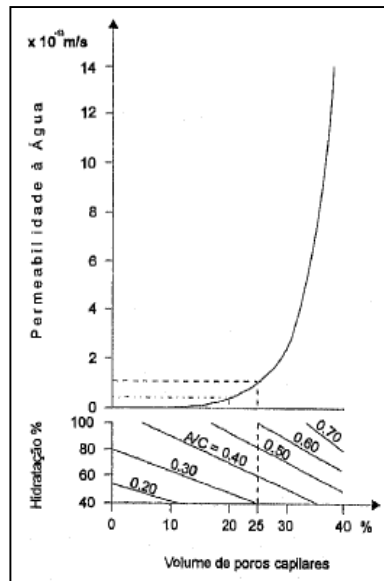


Figura 3-1 Influência da razão água/cimento na permeabilidade (CEB, 1992)

De forma a permitir um valor baixo de A/c, é necessário que o projetista tenha em consideração pormenores fáceis de executar, nomeadamente a pormenorização de armaduras de forma a obter-se espaços de dimensão suficiente para uma adequada colocação do betão fresco e introdução das agulhas de vibração, garantindo deste modo o preenchimento e a vibração do betão entre as armaduras (Coutinho, 1998).

- **Cura e proteção**

Curar e proteger um betão significa, logo após a colocação e a compactação, criar as condições necessárias para que as reações ocorram de modo a minimizar a retração plástica do betão, impedindo a formação de uma camada superficial porosa e permeável. Deve ser evitada uma secagem rápida, nomeadamente humedecendo a base e as cofragens, montando lonas/lençóis e para-ventos. Pode ser usado também cimento com adições ou certos adjuvantes, para que a taxa de evaporação seja inferior à taxa de exsudação (Coutinho, 1998).

- **Dosagem do ligante**

A capacidade de fixação do dióxido de carbono pela pasta de cimento, aumenta com o aumento da dosagem de cimento. É importante que a dosagem de cimento garanta uma boa trabalhabilidade e uma baixa permeabilidade (Coutinho, 1998).

- **Agregados, tipos e granulometria**

De um modo geral, não devem ser usados agregados com sílica reativa ou agregados com sulfuretos ou sulfatos (gesso), agregados com minerais argilosos ou óxidos de ferro nem agregados com os calcários. Em relação à granulometria, esta deve conduzir a uma mistura tão compacta quanto possível (CEB, 1992).

- **Proteção adicional**

Em situações de elevada agressividade do meio, pode ser necessário recorrer a proteção adicional, permitindo controlar os processos de corrosão das armaduras e os processos de deterioração do betão.

No caso do betão, pode ser utilizado um revestimento pouco espesso (espessura até 1 mm) que funcione por impregnação hidrófoba com revestimento dos poros, como, por exemplo, silicone e resinas epoxídicas (Appleton, 1997).

No caso do aço, as armaduras podem ser protegidas indiretamente, através do tratamento do betão que as envolve, por introdução de inibidores de corrosão durante a produção de betão, ou por impregnação posterior, utilizando igualmente revestimentos de proteção às superfícies do betão. Ao nível das armaduras, podem ser utilizados aços com maior resistência aos meios agressivos, como, por exemplo, aço inoxidável (Salta, 2013).

- **Utilização de betões de elevado desempenho**

Para melhorar o desempenho dos betões, têm sido desenvolvidas inúmeras composições que garantem um bom desempenho estrutural ao longo da vida útil da obra. Em geral, estas composições baseiam-se na adição de produtos que dão origem a compostos de grande estabilidade e com propriedades aglomerantes, tornando a microestrutura bastante mais densa, resultando assim um aumento significativo da resistência e da durabilidade.

3.2.2. Enquadramento normativo e especificações gerais

Nos primeiros regulamentos nacionais, os aspetos relacionados com a durabilidade praticamente não foram objeto de atenção. As preocupações com a durabilidade apenas surgiram no Regulamento das Estruturas de Betão e Pré- Esforçado (REBAP, 1983) e no Regulamento de Betões de Ligantes Hidráulicos (RBLH, 1971), este último substituído provisoriamente pela norma portuguesa NP ENV 206, de 1993 (Branco & Brito, 2004). Mas a entrada em vigor do Decreto de Lei nº301/2007, veio estabelecer definitivamente as condições de colocação e execução das estruturas de betão com a norma NP EN 206-1:2007, sendo citadas especificações relacionadas com a durabilidade do betão, nomeadamente a LNEC E 464 -Metodologia prescritiva para uma vida útil de projeto de 50 e de 100 anos face às ações ambientais (Torgal & Jalali, 2008).

A especificação da durabilidade pode ser efetuada através de duas metodologias (Costa A. , 2008):

- prescritiva, na qual tem por base os requisitos de composição e recobrimento de armaduras analisados nas tabelas da Especificação LNEC E 464;
- desempenho, este caso ocorre quando a composição não respeita os limites indicados ou quando são utilizados outros cimentos. Nesta metodologia é efetuada uma análise probabilística através da modelação dos mecanismos de deterioração considerando a variabilidade dos parâmetros em causa. Os métodos baseados no desempenho podem indicar recobrimentos maiores ou menores aos mínimos indicados, inclusive diferentes períodos de vida útil de 50 e 100 anos, ou seja, é uma metodologia não prescritiva pois é baseada no desempenho do betão, podendo ser consultada na Especificação LNEC E 465.

- **NP EN 206-1:2007**

A NP EN 206-1:207 resulta da revisão da NP ENV 206:1993 e teve em consideração as evoluções tecnológicas relacionadas com os aspetos produtivos, com a durabilidade das estruturas e com as metodologias de ensaio. Desta forma, as alterações mais significativas verificaram-se na classificação das ações ambientais e nos betões inseridos em ambientes agressivos (APEB, 2008).

A designação do betão foi outra preocupação desta norma, tendo como objetivo tornar a especificação mais clara e completa possível, de forma a reduzir dificuldades relacionadas com a sua interpretação. A designação do betão deve incluir: a referência à norma NP EN 206-1; a classe de resistência à compressão; a classe de exposição ambiental seguida do código do país, a classe de teor de cloretos; a dimensão máxima do agregado e da classe de consistência (APEB, 2008).

No que diz respeito ao ambiente, existiu a necessidade de classificar a severidade do ambiente em relação à durabilidade do betão. A classificação das ações ambientais teve em consideração os dois principais ataques ao betão armado: sobre a superfície do betão (gelo/degelo e químico) ou sobre as armaduras (corrosão induzida por carbonatação e iões cloreto). Na tabela seguinte, observa-se as cinco classes de exposição ambiental com as suas respetivas designações de acordo com a NP EN 206-1.

Tabela 3-1 Classe de exposição ambiental segundo a NP EN 206-1 (CEN, 2004)

Exposição	Classe de exposição	Descrição do ambiente
Sem risco de corrosão	X0	Muito seco
Corrosão induzida por carbonatação	XC1	Seco ou permanente molhado
	XC2	Húmido (raramente seco)
	XC3	Com humidade moderada
	XC4	Com ciclos de molhagem e secagem
Corrosão induzida por cloretos (não do mar)	XD1	Com humidade moderada
	XD2	Húmido (raramente seco)
	XD3	Com ciclos de molhagem e secagem
Corrosão induzida por cloretos provenientes da água do mar	XS1	Zonas costeiras marítimas
	XS2	Zonas submersas
	XS3	Zonas de maré (com ciclos molhagem/secagem)
Ataque gelo-degelo	XF1	Saturação moderada, sem agentes descongelantes
	XF2	Saturação moderada, com agentes descongelantes
	XF3	Saturação elevada, sem agentes descongelantes
	XF4	Saturação elevada, com agentes descongelantes
Ataque químico	XA1	Ligeiramente agressivo
	XA2	Moderadamente agressivo
	XA3	Muito agressivo

- **LNEC E 464**

A Especificação nacional complementar LNEC E 464 sobrepõe-se à NP EN 1992-1 e esclarece a seleção de classes de exposição em que foram organizadas as ações ambientais agressivas para o betão (repetindo as classes de exposição referidas na norma NP EN 206-1), fixando medidas prescritivas que permitem assegurar a vida útil de projeto das estruturas de 50 ou 100 anos nos ambientes correspondentes às diversas classes exposição (Torgal & Jalali, 2008).

Para assegurar a durabilidade das estruturas de betão são efetuadas prescrições relativamente aos limites da composição e da classe de resistência à compressão do betão sob ação do dióxido de carbono, para vida útil de 50 anos (Tabela 3-2). Relativamente aos limites da composição e da classe de resistência à compressão do betão sob ação dos cloretos, para vida útil de 50 anos, as prescrições podem ser observadas na Tabela 3-3.

Tabela 3-2 Quadro 6 da Especificação LNEC E 464 (CEN, 2004)

Tipo de cimento	CEM I (referência) e CEM II/A				CEM II/B; CEM III/A; CEM IV e CEM V/A			
	XC1	XC2	XC3	XC4	XC1	XC2	XC3	XC4
Classe de exposição	XC1	XC2	XC3	XC4	XC1	XC2	XC3	XC4
Mínimo recobrimento nominal (mm)	25	35	35	40	25	35	35	40
Máxima razão água/cimento	0,65	0,65	0,60	0,60	0,65	0,65	0,55	0,55
Mínima dosagem de cimento-C (kg/m ³)	240	240	280	280	260	260	300	300
Mínima classe de resistência	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37	C25/30	C25/30	C30/37	C30/37

Tabela 3-3 Quadro 7 da Especificação LNEC E 464 (CEN, 2004)

Tipo de cimento	CEM V/A (ref); CEM IV/B; CEM II e CEM III			CEM I e CEM II/A		
	XS1/XD1	XS2/XD2	XS3/XD3	XS1/XD1	XS2/XD1	XS3/XD3
Classe de exposição	XS1/XD1	XS2/XD2	XS3/XD3	XS1/XD1	XS2/XD1	XS3/XD3
Mínimo recobrimento nominal (mm)	45	50	55	45	50	55
Máxima razão água/cimento	0,55	0,55	0,45	0,45	0,45	0,40
Mínima dosagem de cimento (kg/m ³)	320	320	340	360	360	380
Mínima classe de resistência	C30/37	C30/37	C35/45	C40/45	C40/45	C50/60

Para assegurar a durabilidade das estruturas de betão são efetuadas prescrições relativamente aos limites da composição e da classe de resistência à compressão do betão sob ação do gelo/degelo, para vida útil de 50 anos (Tabela 3-4).

Tabela 3-4 Quadros 8 da Especificação LNEC E 464 (CEN, 2004)

Tipo de cimento	CEM I (referência) e CEM II/A		CEM II/B; CEM III/A; CEM IV e CEM V/A	
	XF1	XF2	XF1	XF2
Teor mínimo de ar (%)	-	4,0	-	4,0
Máxima razão água/cimento	0,60	0,55	0,55	0,50
Mínima dosagem de cimento, C (kg/m ³)	280	280	300	300
Mínima classe de resistência	C30/37 LC30/33	C30/37 LC30/33	C30/37 LC30/33	C30/37 LC30/33

Quanto aos limites da composição e da classe de resistência à compressão do betão sob ataque químico, para uma vida útil de 50 anos, são efetuadas prescrições identificadas na Tabela 3-5.

Tabela 3-5 Quadros 9 da Especificação LNEC E 464 (CEN, 2004)

Tipo de cimento	CEM I (referência) e CEM II/A			CEM II/B; CEM III/A; CEM IV e CEM V/A		
	XA1	XA2	XA3	XA1	XA2	XA3
Classe de exposição	XA1	XA2	XA3	XA1	XA2	XA3
Máxima razão água/cimento	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,45
Mínima dosagem de cimento-C (kg/m ³)	340	360	380	320	340	360
Mínima classe de resistência	C35/45 LC35/38	C40/50 LC40/44	C40/50 LC40/44	C30/37 LC30/33	C35/45 LC35/38	C35/45 LC35/38

Para uma vida útil de 100 anos, a Especificação LNEC E 464, introduz as seguintes alterações relativamente aos requisitos formulados para uma vida útil de 50 anos da Tabela 3-2 à Tabela 3-5:

- aumento do recobrimento mínimo nominal para 10 mm para betões armados ou pré-esforçados sujeitos à ação do dióxido de carbono (XC) ou de cloretos (XD e XD);
- estruturas de betão sujeitas à ação gelo-degelo (XF) ou ataque químico (XA), a razão A/C é diminuída de 0,05, a mínima dosagem de cimento é aumentada de 20 kg/m³ e a classe de resistência à compressão é aumentada de duas classes.

As combinações de classes de exposição observava-se na Tabela 3-6 (Costa A. , 2008).

Tabela 3-6 Quadro 11 da Especificação LNEC E 464 (CEN, 2004)

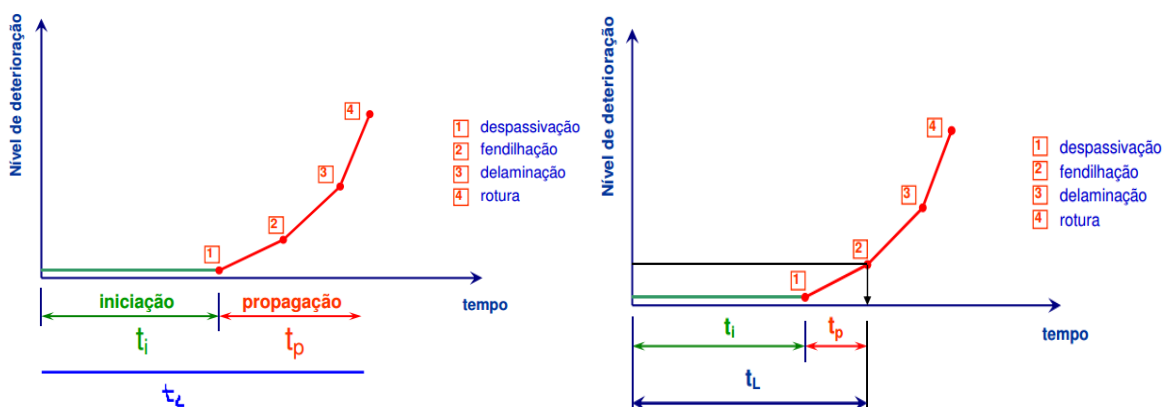
Classe de exposição	Combinações de classe de exposição
XC2	XF1
	XS2 + XA1
	XF1
	XA1, XA2 ou XA3
XC3 ou XC4	XF1
	XD1 + XF2
	XS1
	XD3
XC4	XS3 + XA1
	XA1, XA2 ou XA3

No caso de se pretender utilizar outros cimentos que não os indicados na Especificação, ou os recobrimentos forem menores que os recobrimentos mínimos previstos consoante se pretenda uma vida útil de 50 anos ou 100 anos, dever recorrer-se ao conceito de desempenho equivalente do betão abordado na especificação LNEC E 465, que aborda uma metodologia para estimar as propriedades de desempenho que permitem satisfazer a vida útil de projeto de estruturas de betão armado ou pré-esforçado sob as exposições ambientais XC e XS.

3.2.3. Tempo de vida útil

Não é possível falar de durabilidade sem referir o conceito de vida útil. A vida útil de uma estrutura é uma característica utilizada para o cálculo do projeto e corresponde ao período de tempo em que propriedades do material ficam acima dos valores considerados como aceitáveis, mantendo os respetivos requisitos funcionais (CEN, 2002).

Para a definição da vida útil, podemos seguir duas metodologias prescritas no Eurocódigo e na especificação do LNEC E 465. O Eurocódigo sugere que o tempo de vida útil corresponde ao período de iniciação (fase em que não há sinais visíveis de deterioração) mais o período de propagação (i.e. fase em que ocorre os estados limites de: despassivação das armaduras; fendilhação; delaminação e rotura, ou seja corresponde ao desenvolvimento visível da deterioração) (Figura 3-2 a). Por outro lado, a especificação LNEC E 465 estabelece apenas o estado limite de utilização, ou seja, o período de propagação é definido desde a despassivação das armaduras até ao início da fendilhação que juntamente com o período de iniciação representam o tempo de vida útil, mais restrito (Figura 3-2 b).



a. Tempo útil segundo o Eurocódigo 2

b. Tempo útil segundo LNEC E 465

Figura 3-2 Definição do tempo útil (Costa A. , 2008)

Saliente-se a importância das ações de inspeção e consequentes ações de manutenção mesmo que não haja sinais de deterioração visíveis, de modo a retardar o desenvolvimento dos mecanismos de deterioração. Isto porque os custos de reparação de uma estrutura que se apresente na fase de propagação são sempre mais elevados.

Para o caso em estudo, as obras de arte são classificadas com categoria 5 (i.e. estruturas de edifícios monumentais, pontes e outras estruturas) e o valor indicativo do tempo de vida útil de projeto são 100 anos (Tabela 3-7).

Categoria vida útil de projeto	Valor indicativo vida útil de projeto (anos)	Tipo de Estrutura
1	10	Estruturas provisórias
2	10 a 25	Componentes estruturais substituíveis
3	15 a 30	Estruturas agrícolas e semelhantes
4	50	Estruturas de edifícios e outras estruturas correntes
5	100	Estruturas de edifícios monumentais, pontes e outras estruturas

Tabela 3-7 Valores indicativos do tempo de vida útil de projeto (CEN, 2002)

Importa também identificar a vida residual de uma estrutura, que corresponde ao período de tempo em que o desempenho da estrutura torna-se inaceitável, sendo necessário efetuar-se reparações, estabelecendo uma nova vida útil para essa estrutura, garantindo as condições mínimas de segurança e funcionalidade (CEB, 1992). Na Figura 3-3, observa-se a relação entre o desempenho previsto com o passar do tempo, ou seja, o desempenho (requisitos funcionais) decresce com o passar do tempo, devido à degradação natural do material até um valor que é considerado como mínimo aceitável. Nessa altura, efetuando as reparações necessárias, é possível melhorar o desempenho das estruturas até ao nível pretendido, voltando a decrescer com o passar do tempo.

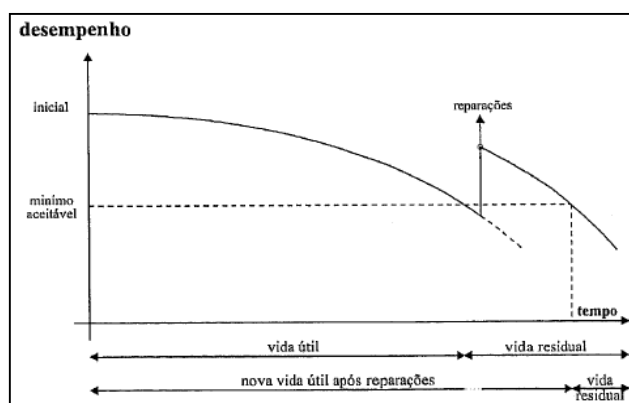


Figura 3-3 Vida útil e vida residual de uma estrutura de betão armado (CEB, 1992)

3.2.4. Requisitos de durabilidade

Para atingir-se o tempo de vida útil de projeto especificado para a estrutura, considera-se os requisitos que influenciam a durabilidade de uma estrutura de betão armado, e esses fatores são os seguintes (CEN, 2004):

- conceção estrutural (forma estrutural, geometria e robustez);
- seleção dos materiais (composição do betão, razão água/cimento, dosagem de cimento, tipo de cimento);
- pormenorização (recobrimento das armaduras, pormenorização das armaduras, drenagem);
- execução (colocação, compactação e cura do betão);
- controlo da qualidade (verificação das propriedades específicas para os materiais e processos construtivos)
- inspeção (plano de observação da estrutura);
- condições ambientais;
- verificações (recobrimento das armaduras).

As condições ambientais a que as estruturas estão sujeitas são um fator fundamental em termos de durabilidade, pois são condições químicas e físicas que podem levar à deterioração do betão e à corrosão das armaduras (Coutinho, 1998).

O recobrimento das armaduras é a distância entre a armadura e a superfície do betão, e pode-se diferenciar em dois tipos, o nominal e o mínimo. O recobrimento nominal corresponde à soma do recobrimento mínimo mais uma margem de segurança para as tolerâncias de execução. O recobrimento mínimo deve assegurar a proteção das armaduras contra a corrosão, a transmissão eficaz das forças de aderência e assegurar uma resistência ao fogo (CEN, 2004).

3.2.5. Projeto de durabilidade

A durabilidade é uma característica essencial para a qualidade e desempenho das estruturas, e o custo total não representa apenas o custo de construção mas também o custo de manutenção e o custo de reparação.

A exigência de um projeto que incorpore a durabilidade da estrutura nasceu do crescente interesse expresso pelos Donos-de-Obra em colocar exigências para a vida útil da estrutura.

Surge então a necessidade da realização de um projeto de durabilidade. Todos os elementos do projeto, nomeadamente topográficos, geológicos, entre outros, devem ser do conhecimento do projetista. Seria desejável que, nesta fase, fossem devidamente considerados os diferentes aspetos que condicionam a análise de custos ao longo do ciclo de vida útil, nomeadamente: custo do projeto; custo de construção; custo de conservação; custo de reabilitação; custo de utilização; entre outros (Salta, 2013).

Os principais procedimentos a efetuar num projeto de durabilidade são (Coutinho, 1998):

- especificação da vida útil;
- identificação das condições ambientais;
- definição dos mecanismos de deterioração e dos modelos de simulação;
- definição dos materiais e dos parâmetros de durabilidade, neste procedimento deve ser efetuado recomendações para garantir maior durabilidade às estruturas em questão;
- propor um plano de monitorização e identificação de elementos críticos, dos quais devem ser dado um acompanhamento especial nas atividades de Inspeção.

3.3. Deterioração em estruturas de betão armado

Geralmente, as anomalias manifestam-se de forma diferente em função da sua causa. Essas manifestações permitem a identificação do tipo anomalia, tendo em conta os fenómenos envolvidos no processo de deterioração.

Alguma bibliografia da especialidade faz uma distinção entre anomalias estruturais e anomalias não estruturais. As anomalias não estruturais são caracterizadas por deteriorações ou mau funcionamento dos componentes mas que não colocam em risco a estabilidade ou a segurança estrutural (e.g. cornijas). As anomalias estruturais são, em geral, mais gravosas, porque ocorrem em componentes que podem comprometer o nível de segurança estrutural, quer a curto, quer a longo prazo (DNIT, 2010).

3.3.1. Sintomas de deterioração

É possível identificar sintomas de deterioração, ou seja, sinais visíveis nas superfícies de betão que, ao evoluírem, provocam uma maior degradação das obras de arte. Neste sentido, é fundamental identificar os principais sintomas de deterioração (Tabela 3-8) bem

como avaliar as causas que lhe deram origem, de modo a prever-se a sua evolução e sugerir-se métodos de reabilitação (Costa A. , 2008).

Tabela 3-8 Principais sintomas de deterioração nas estruturas de betão armado (Costa A. , 2008)

Anomalia	Sintoma	Ilustração
Fendilhação	Aberturas estreitas na superfície de betão	
Delaminação	Descasque de betão, fragmento que se solta da massa do betão	
Corrosão	Aparecimento de manchas de óxido na superfície e delaminação na camada de recobrimento	
Desagregação	Desintegração sucessiva das camadas superficiais do betão	
Erosão	Perda da pasta de cimento de ligação dos agregados	
Infiltração	Percolação de água por vazios no betão, ou por juntas de betonagem mal executadas	
Eflorescência	Deposição à superfície de sais dissolvidos pela percolação de água no interior do betão	
Deformação	Podem resultar em flechas excessivas, deslocamentos longitudinais ou transversais não previstos, movimentos anormais nos apoios, vibrações excessivas, entre outros.	

Nas subsecções seguintes, serão referidas as causas e os agentes responsáveis pelas anomalias referidas anteriormente.

3.3.2. Agentes e causas de deterioração

Os agentes e as causas de deterioração do betão estão relacionados com o meio envolvente em que a estrutura está inserida e com as propriedades dos seus materiais constituintes.

a) Erros

Nem sempre existe uma origem específica no aparecimento de anomalias. Por vezes, são manifestações combinadas de diferentes fatores, responsáveis pelo aparecimento destas, mas a maioria das anomalias existentes nas pontes advêm de erros numa ou mais de três fases: projeto, construção e utilização (Ryall, 2000).

Na fase de projeto, é importante controlar todas as variáveis que podem influenciar o comportamento das estruturas, ou seja, todos os elementos de projeto devem ser do conhecimento do projetista. A qualidade do projeto vai depender do cumprimento das normas regulamentares em vigor, da utilização de um modelo de cálculo adequado e da qualidade da pormenorização de todos os elementos estruturais. Estes fatores podem levar à ocorrência de deformações excessivas, falta de controlo da fendilhação, corrosão das armaduras, entre outras anomalias. Importa salientar que é fundamental investir nesta fase de modo a evitar complicações no futuro. Os principais fatores que podem contribuir para o aparecimento de anomalias na fase de projeto são (Costa, 2008):

- deficiente avaliação da agressividade das condições de exposição;
- deficiente avaliação das ações/esforços;
- especificação inadequada dos materiais (betão e aço);
- especificação insuficiente do recobrimento;
- erros de modelação (conceção estrutural inadequada, deficiente pormenorização das armaduras, entre outros);
- conceção inadequada de equipamentos (sistemas de drenagem, juntas de dilatação, aparelhos de apoio);
- não consideração da necessidade de efetuar inspeções periódicas e trabalhos de manutenção e de conservação.

A fase de construção é responsável muitas vezes pela origem das anomalias, pelo que é importante garantir qualidade nos materiais de construção, juntamente com uma correta aplicação dos mesmos. É também fundamental evitar más interpretações dos projetos. Nesta fase, destaca-se o papel importante das equipas de fiscalização, porque durante a construção

devem garantir rigorosamente as condições do projeto de execução. Os fatores que podem contribuir para o aparecimento de anomalias na fase de construção são (Trindon, 2009):

- mau posicionamento dos espaçadores;
- seleção inadequada dos materiais;
- insuficiente vibração do betão, originando um betão poroso e pouco durável;
- fabrico incorreto do betão (má qualidade ou má execução em obra);
- cura desadequado do betão, resultando retração por má secagem, levando a fissuração;
- má montagem de equipamentos (ap. de apoio, juntas de dilatação, drenagem);
- má execução de impermeabilizações.

Existem anomalias que só se vão manifestar com o passar dos anos, aquando da utilização da obra, ou seja, na fase de serviço. Nessa fase, é fundamental a ocorrência de inspeções periódica, pois permite identificar anomalias que poderão pôr em causa a segurança dos seus utilizadores. Este assunto será abordado com destaque no capítulo seguinte. Os principais fatores que podem contribuir para o aparecimento de anomalias na fase de exploração ou de serviço são (Trindon, 2009):

- falta de manutenção e conservação;
- cargas excessivas;
- exposição a ambientes agressivos para os quais a estrutura não foi projetada;
- equipamento obsoleto;
- ausência de inspeção.

b) Ações agressivas

Pode-se identificar a natureza das causas da deterioração do betão. Neste sentido, os mecanismos de deterioração podem estar relacionados com ações agressivas de origem biológica, física, mecânica e química (DNIT, 2010).

A origem biológica reflete-se na presença de microrganismos que causam degradação do betão através da acidificação da água, nomeadamente em estruturas que estejam em contacto com águas poluídas ou com diversas espécies de bactérias, fungos ou algas que oxidam o enxofre, causando erosão na pasta de cimento. A presença de vegetação (e.g. líquenes, raízes e musgos) em orifícios ou em fendas, permite que estas exerçam forças expansivas no próprio betão.

As causas físicas estão relacionados principalmente com a temperatura, ação do fogo, ação gelo/degelo e ações indiretas, tais como desgaste, abrasão e cristalização de sais. As causas físicas são as causas externas que podem conduzir a tensões de tração localizadas ou generalizadas, que sendo superiores às tensões de resistência, vão promover a fendilhação (Coutinho, 1998).

As causas químicas estão relacionados com a presença de agentes químicos agressivos, provocando reações expansivas no interior do betão (sulfatos e álcalis), dissolução do cimento (águas puras, sais e ácidos) e corrosão das armaduras (penetração de dióxido de carbono, cloretos e oxigénio). Estas situações fazem com que o betão se torne mais poroso, permeável e conseqüentemente suscetível à ocorrência de anomalias.

3.3.3. Mecanismos de deterioração do betão armado

Conhecidos os principais agentes que podem ajudar a desenvolver a deterioração do betão, importa perceber os principais mecanismos responsáveis por essa ocorrência. Os principais mecanismos de deterioração do betão estão relacionados com a corrosão das armaduras. A corrosão pode ser definida como um processo eletroquímico onde existe uma diferença de potencial no material, originando fluxos de eletrões, sendo necessário a presença de um ânodo (zona de armadura despassivada), um cátodo (zona de armadura em contacto com o oxigénio), um condutor elétrico (armadura) e de um eletrólito (betão), como se apresenta na Figura 3-4 (Lúcio, 2008).

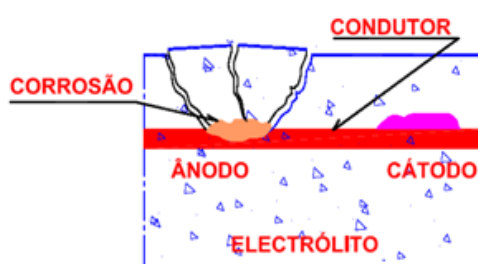
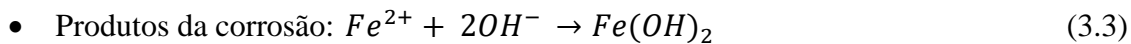
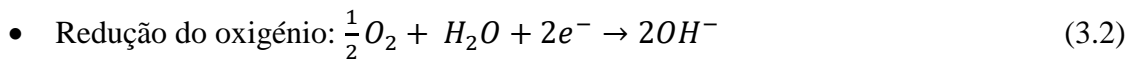
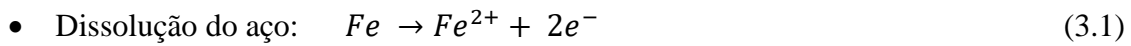


Figura 3-4 Mecanismo de corrosão das armaduras (Lúcio, 2008)

No processo de corrosão do aço, ocorre a libertação de íões de ferro (Equação 3.1). Os eletrões libertados migram para a zona catódica que ao reagirem com a água e oxigénio, dão origem a íões hidróxidos (Equação 3.2). Estes, por sua vez, migram para a zona do ânodo, dando origem aos produtos da corrosão, nomeadamente os hidróxidos de ferro (Equação 3.3)

As equações químicas que traduzem o processo de corrosão são as seguintes:



Como consequência do mecanismo de corrosão, temos a redução da secção das armaduras e a possível fissuração do betão, resultando na diminuição da resistência da estrutura e no conseqüente aumento da probabilidade de rotura (Lúcio, 2008).

A corrosão pode ser agravada pela presença de fissuras, que facilitam a penetração de agentes agressivos, utilização de recobrimentos insuficientes e pela porosidade excessiva do betão (Cóias, 2006).

Os fenómenos que provocam a despassivação das armaduras, dando origem à corrosão, são a carbonatação e a penetração de cloretos. Estes dois fenómenos causam o mesmo efeito, nomeadamente produção de produtos expansivos da corrosão, o que conduz à geração de tensões internas no betão, resultando na delaminação/fendilhação deste.

a) Temperatura

A temperatura é considerada uma ação agressiva associada ao meio ambiente. Um elemento estrutural de betão armado sujeito a variações de temperatura significativas sofre variações de volume, podendo originar fissuração. Esses efeitos são desprezáveis se o elemento puder deformar-se livremente. As tensões internas resultante de efeito térmico, podem provocar deformações por flexão, especialmente em elementos de espessura significativa. Essas tensões internas causadas por variações diferenciais de temperatura, podem introduzir tensões de tração, provocando níveis de fendilhação importantes, sendo muitas vezes responsáveis pelo destacamento da camada superficial de revestimento do próprio elemento (DNIT, 2010).

b) Ciclos gelo/degelo

Este mecanismo de deterioração é observado em estruturas submetidas a ciclos de temperaturas que provoquem a congelação e descongelação, principalmente em superfícies horizontais expostas à água, ou em superfícies verticais de elementos submersos

O betão apresenta uma estrutura porosa. Se a temperatura do material poroso descer até ao ponto de congelação da água contida na sua rede de poros, podem ser observados danos associados à formação de gelo. A passagem da água do estado líquido ao estado sólido provoca um aumento de volume, o que resulta em tensões de tração que conduzem à fendilhação e à delaminação da zona superficial do betão. Para ocorrer deterioração

significativa é necessário que os poros do betão estejam saturados e que haja ocorrências repetidas de ciclos gelo/degelo (Lúcio, 2008).

c) Fogo

A deterioração provocada pelo fogo nas Obras de Arte é raro, mas quando surge provoca danos nos materiais estruturais e nos seus elementos, visto que o aquecimento do betão resulta na desidratação da pasta de cimento, originando uma redução da resistência mecânica e um aumento da deformabilidade. Apesar das vantagens do betão do ponto de vista da resistência ao fogo (isolante térmico e incombustível), quando submetido a elevadas temperaturas perde humidade na forma de vapor de água, originando fissuras e delaminações, provocando perda de resistência e rigidez nos elementos estruturais, levando a deformações permanentes elevadas (Cóias, 2006).

d) Ataque de sulfatos

O ataque de sulfatos é uma reação química desencadeada pelos sulfatos que surgem normalmente no solo (em solução com adubos ou em solução com águas subterrâneas) e no mar. Os sulfatos mais frequentes são os de sódio, potássio, cálcio, magnésio e de amónio, e os componentes da pasta de cimento suscetíveis de serem atacados são os aluminatos de cálcio hidratado e o hidróxido de cálcio. Estes sulfatos podem reagir entre si provocando expansão do betão, e posteriormente fendilhação e desagregação.

e) Ataque de cloretos

O ataque dos cloretos também é um mecanismo que leva à deterioração do betão armado, nomeadamente com a corrosão das armaduras. A presença de cloretos no betão surge normalmente da proximidade à água do mar, da utilização de alguns aceleradores de presa, da proximidade a ambientes ricos em cloro, como é o caso das piscinas, ou até da utilização de agregados retirados do mar e que não foram lavados corretamente (Lúcio, 2008).

Os cloretos têm a capacidade de romperem a camada de óxido que protege as armaduras, permitindo, com essa despassivação, que a corrosão das armaduras se inicie (ver Figura 3-5). O resultado deste mecanismo traduz-se na perda de seção das armaduras, fendilhação e delaminação do betão de recobrimento. As consequências deste mecanismo traduzem-se na perda da capacidade resistente dos elementos estruturais, conduzindo em última instância à rotura.

As equações químicas que traduzem o mecanismo de ataque por cloretos são as seguintes (Lúcio, 2008):

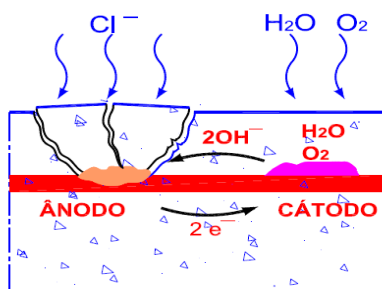
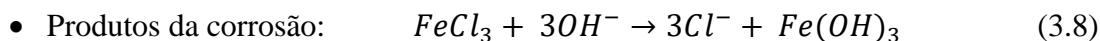
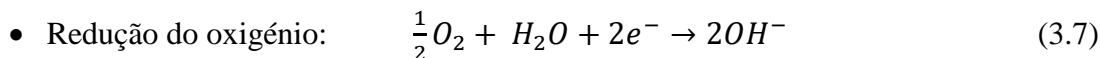
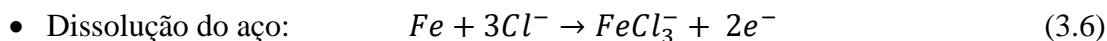


Figura 3-5 Mecanismo de corrosão devido à penetração de cloretos (Lúcio, 2008)

Este mecanismo depende, essencialmente, da quantidade de cloretos que se encontra na superfície do betão e da qualidade do betão (resistência e porosidade), que vai influenciar a velocidade de penetração dos mesmos no seu interior.

f) Ataque por água pura e meios ácidos

A água pura pode ter um pH mais ácido devido à presença de poluentes industriais, nomeadamente dióxido de carbono ou ácidos orgânicos ou inorgânicos. Estes ácidos tornam o ambiente mais agressivo, atacam o betão, eliminando produtos hidratados por lixiviação devido à acidez da água e formando compostos expansivos no betão devido à reação dos iões sulfatos com os compostos do cimento.

g) Carbonatação

A carbonatação do betão é causada por uma reação química entre o dióxido de carbono (CO_2) e os produtos da hidratação do cimento. Na Figura 3-8 observa-se com a ilustração a presença do dióxido de carbono que vai penetrando lentamente por difusão⁸, dando início ao processo de carbonatação. À medida que o dióxido de carbono avança, este reage com o hidróxido de cálcio presente no betão, dando origem ao carbonato de cálcio (Equação 3.9). Este fenómeno é acompanhado por uma reduzida variação do volume e por uma diminuição do pH no betão. Este mecanismo é responsável pela eliminação da proteção que o próprio

⁸ Migração de átomos ou moléculas num sistema físico (sólido, líquido ou gás), em geral devido à sua própria agitação térmica, muitas vezes também causada pela influência de um gradiente de temperatura, pressão, ou por um potencial químico ou elétrico.

betão exercia em volta das armaduras, podendo iniciar-se o processo de corrosão (Equação 3.10).

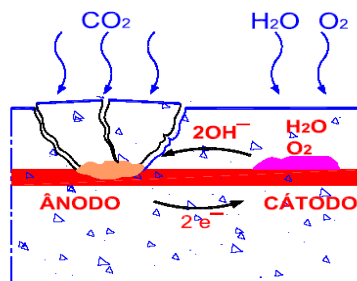
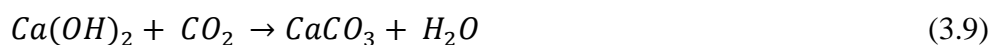


Figura 3-6 Mecanismo de corrosão devido à carbonatação (Lúcio, 2008)

As equações químicas que traduzem o processo de carbonatação são as seguintes:



O desenvolvimento da carbonatação depende do teor de humidade existente na estrutura, da humidade relativa ambiental, da concentração de dióxido de carbono no ar, do tipo de cimento e da razão água /ligante do betão.

h) Reação álcalis-agregados (expansivas)

- Reação álcalis-sílica

A reação álcalis-sílica é uma reação química do betão que se dá entre os álcalis do cimento e a sílica de certos agregados. A deterioração do betão provocada por esta reação deve-se à influência de diferentes fatores, tais como a presença de sílica reativa nos agregados, o teor de álcalis na solução intersticial do betão e o teor de humidade do ambiente em que o betão se insere.

Esta reação pode originar expansões internas do betão, originando fendilhação. As estruturas que são afetadas por este tipo de reação apresentam um padrão de fendilhação caraterístico na superfície. Para não se confundir a fissuração causada pela reação álcalis-sílica com as originadas pela retração ou outro tipo de mecanismo, é necessário efetuar-se uma análise microscópica.

- Reação sulfática

A reação sulfática é uma reação química causada pela ação dos sulfatos provenientes dos agregados (ou até mesmo do exterior) com presença da cal e os aluminatos presentes na

pasta de cimento. Como produto desta reação tem-se a formação de taumasite ou etringite⁹ que provoca a expansão do betão. Este aumento do volume, pressiona e rompe a matriz de cimento, originando o aparecimento de fendas e a desintegração do betão superficial.

i) Abrasão e erosão

A abrasão é um fenómeno que pode ocorrer no pavimento das pontes e é resultante do desgaste provocado por tráfego de veículos, deslizamento e impactos de objetos no próprio pavimento. Outro mecanismo de deterioração do betão é a erosão, fenómeno que é causado pela ação da água juntamente com partículas sólidas em suspensão. Devido a este fenómeno ocorre uma perda progressiva do ligante que levará à desintegração do betão.

j) Fissuração sem controlo

Este mecanismo de deterioração ocorre com alguma frequência nas estruturas de betão. A presença de fissuras permite a penetração de agentes agressivos que podem originar a corrosão das armaduras. A fissuração sem controlo surge quando as armaduras colocadas não apresentam as características necessárias para reduzir a abertura das fendas a valores suficientemente baixos, ou por outras razões relacionadas com falhas de projeto, de utilização da estrutura, da composição do betão ou do processo de colocação e cura do betão.

A Tabela 3-9 pretende agrupar as possíveis causas que levam à fissuração do betão.

Tabela 3-9 Causas da fissuração no betão (CEB, 1992)

Fase	Causas	
Antes do endurecimento	Plástica	Retração plástica Assentamento plástico
	Deslocamento em construção	Da cofragem Dos apoios
Depois do endurecimento	Física	Retração dos agregados Retração por secagem
	Estrutural	Sobrecarga acidental Fluência
	Térmica	Ciclo gelo/degelo Variações térmicas sazonais
	Química	Corrosão das armaduras Reação álcalis-agregados Carbonatação do cimento

A tabela seguinte, pretende de forma resumida, definir os principais mecanismos de deterioração do betão e do aço, evidenciando as principais causas responsáveis pelas anomalias em questão.

⁹ Produto resultante das reações entre sulfatos e aluminatos

Tabela 3-10 Principais mecanismos de deterioração do betão e do aço (adaptado de DNIT, 2010 e Coutinho 1998)

Origem	Mecanismo	Causas
Biológica	Ataque meio ácido	Poluição da água, sistemas de esgotos.
Física	Abrasão e erosão	Desgaste (tráfego, deslizamentos, impactos).
	Ciclos de gelo e degelo	Tensões internas de expansão devido à solidificação da água.
	Fogo	Desidratação da pasta de cimento.
Mecânica	Fissuração por retração plástica	Deficiente compactação e cura. Evaporação superior à exsudação.
	Fissuração por assentamento plástico	Impedimento de assentamento, pela cofragem ou armaduras.
	Fissuração por sobrecarga	Deficiente dimensionamento.
	Fissuração por retração térmica	Ligação de betão jovem a betão antigo.
	Fissuração por retração	Secagem deficiente.
Química	Ataque de sulfatos	Reações químicas expansivas.
	Ataque da água do mar	Reações químicas por penetração de cloretos.
	Reação álcalis-agregados	Reações químicas expansivas.
	Carbonatação	Redução da alcalinidade do betão.
	Penetração de coretos	Destruição da camada de passivação.

Com esta seção, pretendeu-se apresentar as principais anomalias que se pode observar em pontes e viadutos de betão armado, as respetivas causas que lhes deram origem, prevendo a sua evolução.

É fundamental ter a noção de que, para controlar a deterioração no período de vida útil das estruturas, é necessário conhecer o comportamento dos materiais e os seus mecanismos de deterioração, de forma a permitir recomendar medidas de proteção e técnicas de reabilitação adequadas.

A durabilidade não é apenas uma propriedade intrínseca dos materiais, é também uma função relacionada com o desempenho dos mesmos, sob determinadas condições ambientais. O envelhecimento dos materiais resulta em alterações das propriedades mecânicas, físicas e químicas, tanto na superfície como no seu interior, principalmente devido à agressividade do meio ambiente. A ausência desta preocupação na fase de projeto faz com que ao longo da vida útil da estrutura, os custos de conservação possam assumir valores muito elevados.

4. INSPEÇÃO E AVALIAÇÃO

O presente capítulo consiste na elaboração de diretrizes e de procedimentos já bem estabelecidos em Portugal e com algum desenvolvimento que se considera importante para a realização de uma correta inspeção, de modo a avaliar a natureza e a extensão das anomalias, minimizando a possibilidade de um componente ser mal avaliado e recomendar em tempo útil as intervenções adequadas para cada situação.

A regulamentação portuguesa é muito generalista no que diz respeito à gestão de obras de arte, não existindo regulamentos específicos para procedimentos de inspeção, o que leva a que sejam as entidades concessionárias responsáveis pelas obras de arte a realizarem as suas próprias diretrizes de gestão e de conservação para as suas estruturas.

No artigo 176º do REBAP, podemos encontrar algumas referências à manutenção, referindo apenas existir a necessidade de realizar-se inspeções regulares e, se necessário, as reparações adequadas. Para pontes rodoviárias não sujeitas a ambientes particularmente agressivos é recomendável a execução de inspeções periódicas de 1 a 5 anos (REBAP, 1983).

A nível internacional, o Canadá tem vindo a desenvolver normas que se aplicam à conceção, avaliação e reabilitação estrutural de pontes (CAN/CSA-S6-00, CAN/CSA-S6-06 e CAN/CSA-S6-88). A Inglaterra também já tem normas e recomendações para inspeção, manutenção, reparação e avaliação de pontes, nomeadamente através das normas BA 16/97 e BD 21/01. O Brasil possui uma norma exclusiva para inspeção de pontes em betão, através da NBR-9452 “Vistorias de Pontes e Viadutos de concreto” (Costa V. M., 2009).

4.1. Sistema de Gestão de Obras de Arte

A limitação de fundos para a manutenção e conservação das obras de arte torna fundamental a implantação de um sistema que faça a gestão de todas as atividades relacionadas com essas obras, oferecendo maior eficácia no tratamento dos dados, de modo que os gestores tenham uma imagem global do seu parque de obras e uma ferramenta de auxílio nas tomadas de decisões.

Um sistema de gestão de obras de arte é uma ferramenta importante que serve de apoio aos donos de obra, pois permite conhecer toda a informação relativa à gestão das respetivas

obras de arte em formato organizado e informatizado, priorizando assim os trabalhos a serem efetuados, de modo a ser garantido um estado de manutenção e de conservação aceitável.

Geralmente, a estrutura de um sistema de gestão de obras de arte é constituída por (Cruz, 2006):

- a) **Inventário:** identifica as características gerais de uma ponte, nomeadamente dados administrativos (identificação e entidades responsáveis), dados técnicos (geométricos, estruturais, materiais e ambientais) e dados de utilização (tráfego e importância da obra).
- b) **Histórico:** neste módulo encontram-se os dados históricos das obras de arte, nomeadamente a calendarização dos trabalhos a serem efetuados, inspeções realizadas, bem como a programação das futuras inspeções;
- c) **Relatórios e fichas de inspeção:** este módulo é importante num sistema de gestão porque é através desta que é conhecido o estado atual da ponte, fundamental para a tomada de decisões. Deve incluir as avaliações efetuadas, respetivas reparações e custos associados;
- d) **Intervenções:** possíveis trabalhos que podem ser realizados, nomeadamente de manutenção, de reparação superficial, de reforço, de beneficiação, de substituição parcial ou total e de demolição;
- e) **Informação financeira:** estimativa de custos e verba disponível;
- f) **Modelos de gestão:** inclui modelos de degradação e de otimização; são modelos que fazem uma previsão futura da deterioração do material, de modo a ponderar e otimizar diferentes cenários de intervenção prioritários, ou seja, estes modelos consideram mecanismos de deterioração específicos, à custa de equações, extrapolações ou regressões, fazendo uma previsão do estado e da condição esperada para cada obra de arte, bem com os respetivos custos esperados das intervenções (e.g. modelo probabilístico de Markov).

Um sistema de gestão de obras de arte deve ser capaz de gerar relatórios, de programar as tarefas a realizar, e hierarquizar os trabalhos mais importantes a serem efetuados, cabendo sempre ao gestor a decisão final. Este sistema deve utilizar as novas informações resultantes da periodicidade das inspeções, de modo a atualizar os seus modelos de deterioração e previsão de custos, sendo fundamental manter esses dados sempre atualizados. Em suma, os

sistemas de gestão representam uma ferramenta eficiente no planeamento e na tomada de decisões contribuindo para uma melhor gestão das obras de arte, hierarquizando as intervenções e a gestão dos recursos disponíveis. Na figura seguinte esquematizou-se o funcionamento geral de um sistema de gestão de obras de arte.

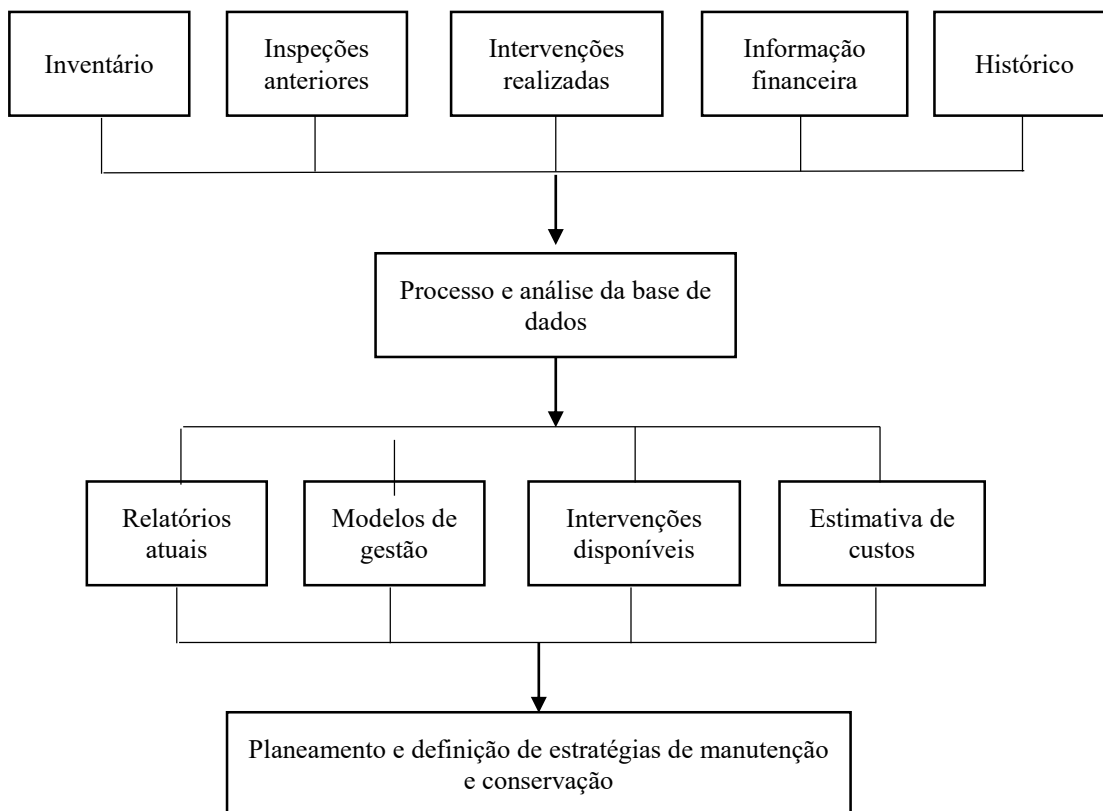


Figura 4-1 Diagrama de um sistema de gestão de obras de arte

4.1.1. GOA[®]

Em Portugal o sistema de gestão mais utilizado pelas entidades responsáveis pelas obras de arte é o sistema GOA[®] (Gestão de Obras de Arte). A Betar Consultores desenvolveu a partir de 1998 esta ferramenta de forma a dar resposta às necessidades dos donos de obra, nomeadamente no apoio à gestão, permitindo conhecer o estado real de conservação e manutenção, de forma a adotarem decisões relativamente à definição dos investimentos a realizar. Refira-se que é este sistema que está implementado nas instalações das concessionárias Via Litoral e Via Expresso.

O sistema GOA[®] foi desenvolvido de forma a adaptar-se às necessidades dos diversos donos de obra e acompanhando o crescimento tecnológico ao nível informático,

apresentando um conjunto de módulos que interagem entre si. Os módulos que fazem parte do GOA[®] são (Betar, 2013):

- a) **Tabelas auxiliares:** este módulo corresponde à informação sobre os diversos tipos de trabalhos (manutenção e reparação), classificando ainda alguns destes como prioritários, neste módulo podemos encontrar ainda tabelas de anomalias e a tabela de associação de anomalias a trabalhos, de forma a facilitar o trabalho do inspetor;
- b) **Estimativas de custos e ajuste orçamental:** este módulo fornece estimativas de custos para anos próximos (mínimo de 5 anos), permitindo ainda a realização de ajustes orçamentais de forma a reduzir a verba necessária para realizar trabalhos de manutenção e reparação, adiando para o ano seguinte os trabalhos que foram excluídos;
- c) **Módulo de inventário:** deve de constituir no primeiro registo a ser efetuado no GOA e é implementado sempre que é recebido uma nova obra, neste módulo está registada todas as características de uma obra de arte;
- d) **Módulos de inspeções** (rotina, principais, especiais e subaquáticas): neste módulo são registadas todas as anomalias verificadas em cada componente, sendo estas sujeitas a uma avaliação qualitativa (estado de manutenção) e quantitativa (estado de conservação), e posteriormente associadas a trabalhos de reparação respetivamente. No sistema GOA[®], as anomalias são fotografadas e anexadas à informação do respetivo componente, adicionando as medidas corretivas propostas para cada situação;
- e) **Módulo do histórico:** neste módulo encontram-se registadas todas as alterações efetuadas na base de dados, ficando igualmente registadas as intervenções de maior importância efetuadas na obra de arte;
- f) **Módulo de consulta:** a ferramenta apresenta um conjunto de filtros que possibilita uma fácil utilização e aplicação de critérios de seleção que podem ser utilizados como forma de consulta, a visualização em mapa da localização das obras selecionadas bem como do registo fotográfico permite igualmente uma interação e descrição simples para o utilizador;
- g) **Módulo de registo de transportes especiais:** o sistema permite efetuar uma verificação das obras de arte existentes no itinerário de passagem do veículo, verificando se estas possuem uma altura livre adequada;

h) Módulo de relatórios: este módulo permite exportar os respetivos relatórios em lotes, de acordo com a indicação do utilizador.

Em síntese, as utilidades que se destacam no sistema GOA[®] são:

- Registo de toda a informação e características de cada obra de arte reunida de forma organizada num catálogo ou inventário;
- Gerar relatórios com a informação recolhida nas atividades de Inspeção, nomeadamente fotos e descrições de anomalias detetadas pelo inspetor;
- Calcular custos totais de reparação sendo necessário apenas a introdução das quantidades exigidas para a respetiva intervenção, uma vez que o sistema dispõe de uma base de dados com os vários tipos de reparações e respetivos custos unitários;
- Efetuar um ajuste orçamental de forma a restringir a verba disponível para os trabalhos prioritários de reparação;

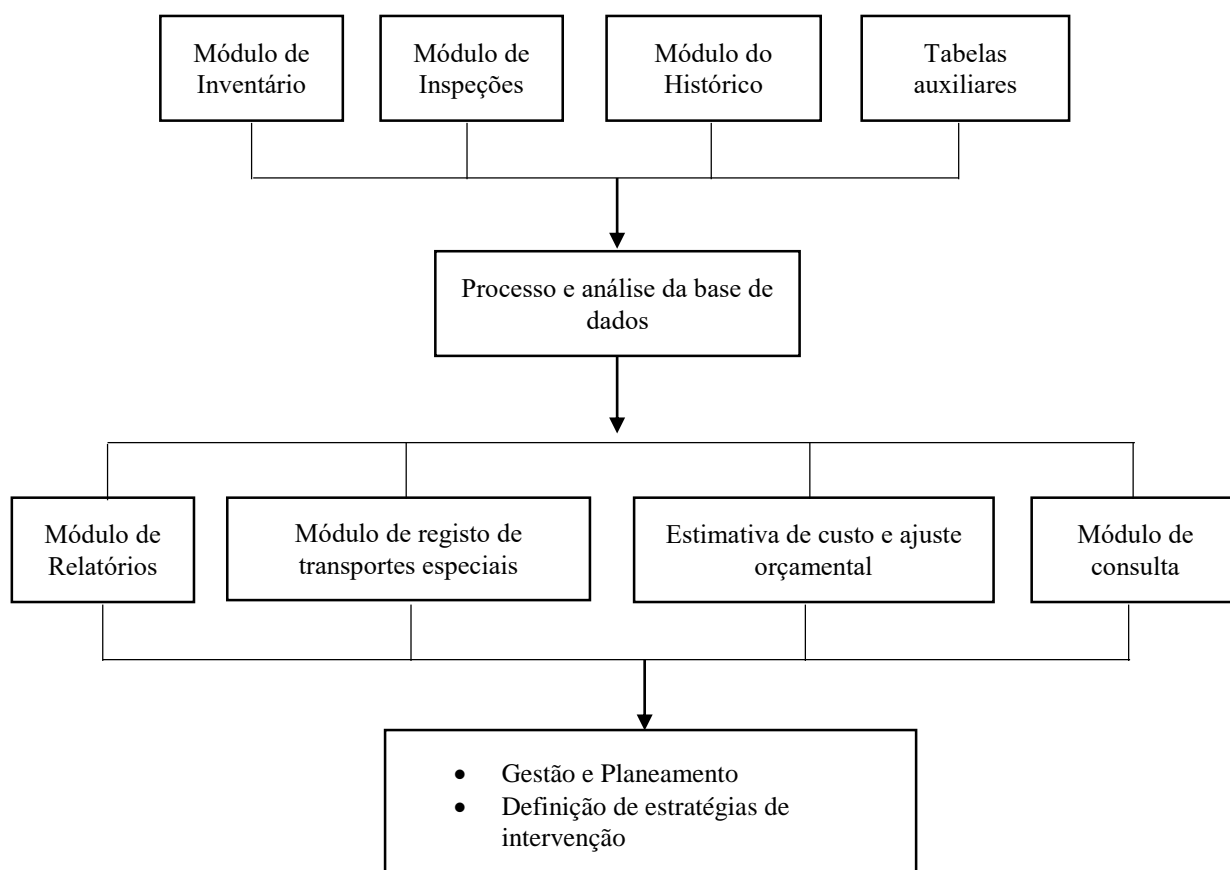


Figura 4-2 Diagrama do funcionamento do sistema GOA[®]

Na figura anterior, representou-se num diagrama, todos os módulos intervenientes do sistema GOA[®], em que, através de vários *inputs*, o sistema ordena e processa toda a

informação adquirida, colocando ao dispor dos seus utilizadores vários *outputs*, apresentando análises fundamentais para os órgãos decisores dos processos de gestão e conservação das obras de arte.

4.2. Inventário

O inventário consiste no registo informatizado das características de uma obra de arte e que servem como base para futuras inspeções e análises. Constitui o primeiro passo para qualquer tipo de inspeção a realizar pois possibilita uma recolha sistemática e organizada das características das obras de arte e do meio envolvente.

O Inventário é composto por três tipos de dados distintos: dados administrativos; dados técnicos; dados de constituição. Nos dados administrativos é registada toda a informação que nos permite localizar e identificar a obra, nomeadamente o nome da via e ponto quilométrico, recorrendo-se a georreferenciadores (e.g. GPS). Para a correta identificação, é atribuída a cada obra de arte uma numeração ou uma matrícula. Nos dados técnicos é registada a solução estrutural adotada, as dimensões gerais (comprimento, largura, “gabarits”), o tipo de tráfego e as informações sobre o meio envolvente (zona sísmica e agressividade ambiental), sendo estes os dados mais indicados para caracterizar o comportamento estrutural da obra. Finalmente, os dados de constituição pretendem descrever e quantificar os materiais e equipamentos que fazem parte de cada componente, em que um dos objetivos de registo é a identificação das respetivas marcas e modelos, bem como das respetivas quantidades. Estes três tipos de dados podem ser obtidos consultando o projeto de execução ou através de uma recolha direta em campo (Betar, 2013).

4.2.1. Planeamento

De forma a efetuar-se um correto registo de inventário (bem como nas outras atividades, especialmente nas inspeções) descrevem-se em seguida três fases importantes para a obtenção dos diversos dados a inventariar:

- **Localização**

A localização das obras a catalogar é essencial para a execução de um correto planeamento dos trabalhos resultantes das atividades de inspeção, caso não esteja disponível qualquer tipo de informação sobre a envolvente das obras, a sua localização poderá fornecer

informações sobre a existência ou não de condicionalismos em termos de acesso (cursos de água, estradas de acesso, relevo acidentado);

- **Medições**

As medições devem ser efetuadas com rigor e todos os equipamentos usados para as medições devem estar em boas condições de funcionamento e devidamente calibrados;

- **Segurança**

Todas as atividades, desde o inventário até às inspeções, devem ser efetuadas sempre com rigor e cumprindo as normas de segurança previamente estipuladas, quer em termos de sinalização do pessoal e veículos de inspeção, quer na circulação dos mesmos.

4.2.2. **Procedimentos de recolha e registo de dados**

Os dados obtidos nas medições dos diversos componentes podem ser registados em diferentes tipos de suporte. Independentemente do tipo de suporte utilizado, estes devem ser guardados em arquivos próprios, organizados por obra, por via, ou segundo outros critérios que se considerem apropriados.

De forma a possibilitar uma maior eficiência no trabalho de levantamento de dados no local, as medições podem ser registadas em suportes como fichas em papel, gravador de voz ou *Palm-top* (computador de bolso), em que primeiramente deverá ser efetuada uma tabela ou um formulário de registo de dados de acordo com a obra inventariada.

4.3. **Inspeção de Rotina**

As inspeções de rotina compreendem um conjunto de procedimentos e normas que visam estabelecer uma correta avaliação das obras de arte. Idealmente é recomendado que este tipo de inspeção tenha uma periodicidade anual, tendo como principais objetivos: avaliar o estado de manutenção da obra; verificar se os trabalhos de manutenção anteriormente recomendados na inspeção de rotina anterior foram realizados; atribuir novos trabalhos de manutenção; indicar, se necessário, a necessidade de realização de uma inspeção principal.

Este tipo de inspeção permite detetar principalmente as anomalias resultantes da falta de manutenção, de modo a especificar trabalhos de manutenção, prever de custos de manutenção para o ano seguinte. As anomalias detetadas nas inspeções de rotina são

importantes a médio e a longo prazo, porque estas, associados a uma deficiente manutenção, poderá alterar a durabilidade dos materiais e causar anomalias mais graves. No caso do inspetor detetar anomalias em que a sua natureza ou desenvolvimento não é conhecido, este deverá indicar a necessidade de realização de uma inspeção principal complementar (e.g. fissuras em elementos estruturais, rotação dos pilares, assentamento das fundações, desaprumo dos apoios)

4.3.1. Procedimentos gerais

Numa inspeção de rotina, o inspetor deverá fazer o registo detalhado e completo de todos os danos e anomalias visíveis, incluindo as situações de mau funcionamento, descrevendo e localizando o dano, referindo a causa (se for conhecida) e prevendo a sua evolução. Posteriormente deverão ser recomendados trabalhos de manutenção mediante a anomalia verificada.

Descrevem-se em seguida os principais procedimentos para se efetuar uma inspeção de rotina (Betar, 2013):

- 1. Preparação:** é o procedimento que antecede a inspeção propriamente dita e consiste na identificação da localização da obra de arte e condicionalismos envolventes, na verificação das condições de acesso (utilização de plataformas elevatória se necessário), na necessidade de efetuar desvios de tráfego avisando as autoridades competentes, na seleção e verificação do funcionamento dos equipamentos, bem como na consulta do histórico (inspeções anteriores).
- 2. Inspeção por componente:** nesta fase, o inspetor deverá percorrer e efetuar uma análise exclusivamente visual pela obra de arte, procurando inspecionar todos os componentes, devendo ter em atenção todos os pormenores que possam influenciar a durabilidade dos mesmos. A análise visual de uma ponte corresponde à etapa necessária para o diagnóstico do estado geral da estrutura. Os inspetores, para efetuarem uma análise visual, deverão estar acompanhados de equipamentos de: limpeza (escova e martelo); visão (binóculos, lente e lanterna); medição (termómetro, fita métrica, régua de escala, laser, fissurómetros); registo (marcadores, fichas de avaliação e máquina fotográfica); segurança (primeiros socorros, capacete e arnês).

Na tabela seguinte são apresentadas as situações mais importantes que se pretende identificar numa inspeção de rotina.

Tabela 4-1 Principais situações a verificar numa inspeção de rotina (Betar, 2013)

Componentes	Situações a identificar
Muros	Mau acabamento, descasque na superfície do betão ou pinturas indesejáveis Varões de esticadores de cofragem por retirar Fixação de detritos ou de vegetação Infiltrações ou escorrência de água
Taludes	Crescimento de vegetação ou ravinamentos Rotura de elementos das caleiras Escoamento indesejável de água Danos no revestimento por descarga das gárgulas
Encontros	Existência de detritos na mesa dos encontros Infiltrações por ausência de órgãos de drenagem Existência de varões, prego ou madeira por retirar
Aparelhos de apoio	Desalinhamento dos rolos Placas de posicionamento retiradas Corrosão pontual ou generalizada de algum elemento Acumulação de detritos
Apoios intermédios	Descasques devido a embates Varões e pregos de cofragem por retirar Furos por preencher
Tabuleiro	Passagem de água pelo bordo do tabuleiro por falta de pingadeira Passagem de água em torno das gárgulas por deficiente selagem nas mangas Molhagem da face inferior do tabuleiro por inexistência de mangas de queda Varões, pregos, cunhas e madeiras de cofragem por retirar
Cornijas	Delaminação pontual de betão Descasque pontual de betão Juntas entre cornijas mal seladas
Guarda corpos	Descasque pontual ou generalizado da pintura de proteção Deformações devido a embates Má colocação dos elementos Má fixação das bases (parafusos soltos ou corroídos) Danos no betão (fendilhação ou descasque nos acrotérios) Desalinhamento dos perfis
Guardas de segurança	Deformação dos elementos (embate e colisões) Falta de elementos (geralmente amortecedores) Má colocação das bases Corrosão dos elementos Danos em elementos de betão (lancis ou perfil New Jersey)
Passeios	Falta de elementos pré-fabricados de revestimento Fendilhação da argamassa de revestimento Acumulação de detritos ao longo do passeio
Revestimento via	Infiltrações, fendas ou descasques ao longo da via Irregularidade do pavimento Acumulação de detritos
Drenagem	Sistemas de drenagem inadequados Falta de ligação de caleiras, valetas ou tubagens Danos nas caleiras, valetas ou tubagens Acumulação de sedimentos em boeiros Falta ou danos em tampas protetoras de sarjetas, gárgulas e caixas de ligação
Juntas de dilatação	Desnivelamento dos elementos Ausência de tampas protetoras das fixações Fixações danificadas Corrosão pontual ou generalizada de elementos metálicos Acumulação de detritos Ausência ou deterioração do material de preenchimento das juntas

3. **Trabalhos de manutenção:** é pretendido que através de uma inspeção de rotina se indiquem os trabalhos corretivos das anomalias observadas. Estes trabalhos podem ser de limpeza ou de pequenas reparações, permitindo manter ou melhorar o nível de desempenho da obra de arte. Os trabalhos de manutenção dividem-se em: corrente (limpezas); não correntes (pequenas reparações).
4. **Quantificação dos trabalhos:** quando é proposto um trabalho de manutenção é necessário indicar a sua localização e um valor estimado da sua quantificação, tentando aproximar ao máximo do valor real.
5. **Estimativa de custo:** para cada trabalho de manutenção proposto, está definido um custo unitário que é alterado consoante os valores de mercado.
6. **Armazenamento e introdução de dados:** Os dados adquiridos durante a Inspeção, são devidamente armazenados para que se possa posteriormente introduzir no respetivo sistema de gestão.
7. **Inspeção complementar:** no caso em que exista a necessidade de realização de outro tipo de inspeção, resultante de incertezas na avaliação ou na deteção de anomalias mais graves, o inspetor deverá solicitar a realização de uma inspeção principal ou até mesmo de uma inspeção especial.

4.3.2. Avaliação do Estado de Manutenção:

Após realizado o trabalho de inspeção, existe a necessidade de classificar os componentes inspecionados, com isto, segue-se a avaliação do estado de manutenção da obra de arte. O estado de manutenção é um indicador que pretende classificar qualitativamente cada componente, mediante a necessidade de respetivos trabalhos de manutenção, neste sentido, é atribuído a classificação de “Bom” quando não é necessário realizar trabalhos de manutenção e “Mau” quando é necessário realizar trabalhos de manutenção.

Na Tabela 4-2 descreve-se os estados de manutenção que foram utilizados para avaliar a manutenção das obras de arte, quer da VEP, quer da VLT.

Tabela 4-2 Avaliação do estado de manutenção (Betar, 2013)

Estado de manutenção	Significado
Bom	Bom estado de manutenção; não é necessária a realização de trabalhos de manutenção
Mau	Mau estado de manutenção; é necessária a realização de trabalhos de manutenção

Existem diversas classificações para avaliar o estado de manutenção das obras de arte, cabendo às entidades responsáveis pelos trabalhos de inspeção de utilizar a classificação que melhor se adegue às características das obras de arte.. Na Figura 4-3 é proposto um fluxograma com os principais procedimentos a realizar numa inspeção de rotina.

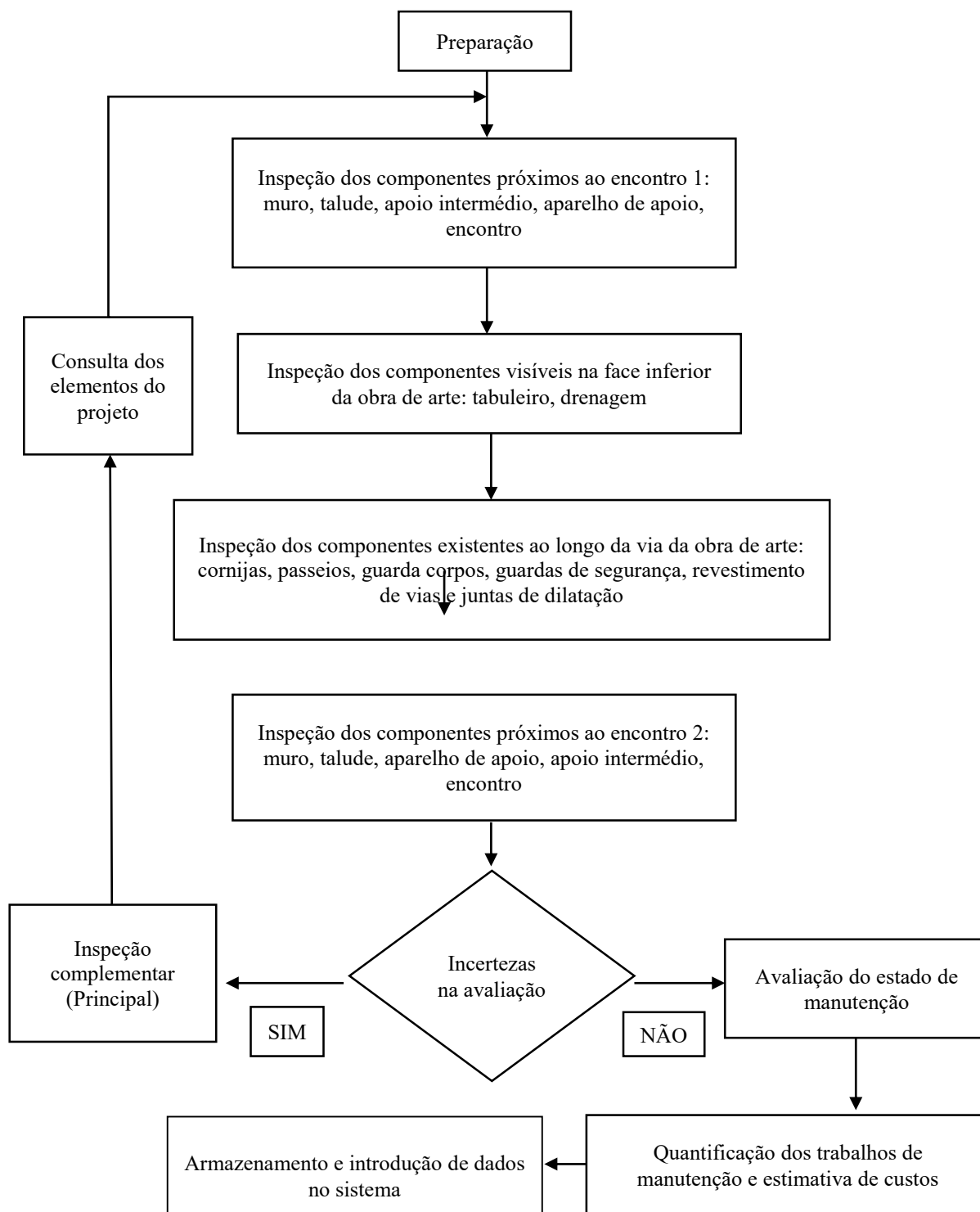


Figura 4-3 Fluxograma proposto para a realização de uma inspeção de rotina

A inspeção de rotina, apesar de ser importante, é insuficiente para obter uma informação completa sobre o estado dos componentes e dos seus materiais respetivos, pois não permite avaliar a evolução das anomalias em profundidade. Desta forma, é importante recorrer a meios de diagnóstico complementares (nomeadamente na realização de ensaios) que permitam obter uma informação mais completa para a caracterização dos materiais e do comportamento das estruturas, mas apenas em situações em que tal se justifique.

4.4. Inspeção Principal

Uma inspeção principal consiste numa análise visual mais cuidada e no registo das condições de funcionamento da estrutura que se pretende inspecionar. Neste registo ficam identificadas as anomalias mais graves que poderão comprometer o funcionamento dos vários componentes, quer ao nível de durabilidade quer ao nível da segurança, ou seja, pretende-se identificar os danos mais graves que correspondem geralmente a um estado mais avançado de degradação (estado de conservação) dos componentes

É recomendado para este tipo de inspeção uma periodicidade de cinco anos, podendo ser diminuída consoante as características da ponte e da agressividade do meio envolvente em que está inserida. Este tipo de inspeção também pode ser realizado sempre que verificarem-se ocorrências relevantes de causas ambientais (e.g. sismo) ou de causas acidentais (e.g. embates de veículos).

Neste tipo de inspeção, pretende-se avaliar o estado de conservação de todos os componentes, recomendando trabalhos de reparação que visam retificar as anomalias detetadas.

O que distingue a inspeção principal da inspeção de rotina, é que na inspeção de rotina não é efetuada a avaliação das anomalias mais graves (e.g. fissuras em elementos estruturais, rotação ou desaprumo de pilares, assentamentos de fundações, entre outros). A inspeção de rotina pretende apenas identificar as anomalias resultantes da falta de manutenção. Neste sentido, os danos menores são identificados em inspeções de rotina e estão associados ao estado de manutenção “Mau”, contribuindo para a durabilidade a médio e a longo prazo, enquanto que os danos maiores verificados em inspeções principais estão associados a um estado mais avançado de degradação (estado de conservação), podendo comprometer a durabilidade dos componentes a curto ou médio prazo.

4.4.1. Procedimentos gerais

Durante uma inspeção principal, à semelhança da inspeção de rotina, o inspetor deverá fazer o registo detalhado e completo de todos os danos e anomalias visíveis, incluindo as situações de mau funcionamento, descrevendo, localizando o dano, referindo a causa (se for conhecida) e prevendo a sua evolução. Posteriormente, deverão ser sugerido trabalhos de reparação mediante a anomalia verificada e estimativa custos.

Descreve-se em seguida os principais procedimentos para efetuar uma inspeção principal (Betar, 2013):

- 1- Preparação:** semelhante à anterior, com a exceção que também deve ser consultado os elementos de projeto, de modo a conhecer-se por exemplo os deslocamentos esperados nos aparelhos de apoio, juntas de dilatação e a localização da existência de equipamentos dissipadores de energia sísmica;
- 2- Inspeção por componente:** nesta fase, o inspetor deverá percorrer e efetuar uma análise exclusivamente visual pela obra de arte, procurando inspecionar os componentes, devendo identificar os todos os danos e anomalias mais graves, que influenciam diretamente a durabilidade, a segurança e a conservação das estruturas em questão.

Na tabela seguinte, é apresentado as situações mais comuns que se pretende identificar numa inspeção principal.

Tabela 4-3 Exemplos de situações a verificar numa inspeção principal

Componentes	Situações a identificar
Muros	Fendilhação Mau dimensionamento (por exemplo, falta de altura para conter os taludes) Falta de estabilidade (rotação e/ou deslocamentos relativos excessivos)
Taludes	Erosão Assentamentos
Encontros	Fendilhação ou descasque no betão Assentamentos da fundação dos encontros (presença de fenda verticais e/ou oblíquas com grande espessura)
Aparelhos de apoio	Deslocamentos ou deformações excessivas Fendilhação ou rotura por esmagamento dos plintos Deterioração do teflon Esmagamento do chumbo Rotura do neoprene
Apoios intermédios	Fendilhação principalmente vertical na base ou na ligação ao tabuleiro Falta de recobrimento das armaduras Falta de contenção das fundações dos apoios intermédios

Tabuleiro	Fendilhação Distorção ou variações anormais na sua geometria Armaduras expostas Danos nas ancoragens de pré-esforço
Cornijas	Delaminação pontual de betão Fendilhação Exposição de armaduras
Guarda corpos	Deformações devido a embates Danos no betão (fendilhação ou descasque nos acrotélios) Desalinhamento dos perfis
Guardas de segurança	Deformação dos elementos (embate e colisões) Corrosão dos elementos Fendilhação no betão (lancis ou perfil New Jersey)
Passeios	Assentamentos nas extremidades de revestimento Fendilhação da argamassa de revestimento
Revestimento da via	Fendas ou descasques ao longo da via Irregularidade do pavimento Falta de atrito de superfície
Drenagem	Sistemas de drenagem inadequados Danos nas caleiras, valetas ou tubagens Falta ou danos em tampas protetoras de sarjetas, gárgulas e caixas de ligação
Juntas de dilatação	Fendilhação do material de preenchimento Deformações excessivas (distorções, deformações verticais, desalinhamentos) Corrosão pontual ou generalizada de elementos metálicos Rotação excessiva entre elementos (muro e encontros)

As principais situações a serem verificadas em elemento de betão armado são as seguintes:

- deformações excessivas;
- fendilhação em elementos estruturais, tendo em atenção a orientação e abertura das fendas;
- exsudação de uma espécie de gel no interior das fissuras, situação que pode indicar um estado avançado da reação alcalis-sílica;
- betão com uma coloração esbranquiçada, situação que poderá indicar carbonatação no betão.

Para cada situação identificada é necessário efetuar uma descrição mais pormenorizada na caracterização das anomalias detetadas, nomeadamente: a sua natureza, as possíveis causas; as suas características; o seu desenvolvimento; a sua extensão.

- **Natureza**- refere o tipo de anomalia observada, por exemplo: fendilhação, delaminação, corrosão, deformação, entre outras já referidas anteriormente;
- **Causas**- nem sempre é possível identificar as causas que deram origem às anomalias detetadas. É possível identificar mais do que uma provável causa responsável pelo aparecimento da anomalia;

- **Desenvolvimento**- corresponde ao grau de evolução atual e expectável da anomalia, e pode compreender as seguintes descrições: ligeiro; superficial; pouco significativo; acentuado; profundo; grave;
 - **Caraterísticas**- pretende-se descrever o aspeto das respetivas anomalias, referindo a coloração, a espessura e orientação (no caso de fendas), forma, entre outras caraterísticas;
 - **Extensão**- pode ser referida em relação à frequência com que a anomalia ocorre na obra, sendo designada de pequeno/pontual/superficial no caso do dano pouco frequente, e de grande/generalizado/profundo no caso da anomalia ser mais frequente.
- 3- **Trabalhos de reparação:** permitem reparar danos mais graves e são propostos em situações que podem comprometer a curto ou a médio prazo a segurança estrutural da obra de arte, ou em situações em que, devido à complexidade dos trabalhos, não são de manutenção e têm consequências na durabilidade das obras de arte. Neste tipo de inspeção, pode-se optar também por não atribuir trabalhos de reparação (é o caso de degradação natural dos materiais ou equipamentos), visto que por vezes não é economicamente viável a sua reparação ou caso extremos (e.g. situações de má conceção em que os custos de reparação excedem os custos de substituição).
 - 4- **Quantificação dos trabalhos:** quando é proposto um trabalho de reparação, é necessário indicar a sua localização e um valor estimado da sua quantificação, tentando aproximar ao máximo do valor real.
 - 5- **Estimativa de custos de reparação:** para cada trabalho de reparação proposto está definido o seu custo unitário, que pode variar consoante os valores de mercado.
 - 6- **Armazenamento e introdução de dados:** Os dados adquiridos durante a inspeção são devidamente armazenados, para que se possa posteriormente introduzir no respetivo sistema de gestão.
 - 7- **Estudos complementares:** em caso de incerteza no diagnóstico, nomeadamente na causa, na extensão ou na evolução da anomalia, deve ser solicitada uma inspeção especial, de forma a serem realizadas análises técnicas mais específicas que permitam avaliar, com mais rigor e segurança, o estado real da estrutura, propondo-se assim trabalhos mais apropriados para a sua reparação. Para além da inspeção

especial, podem ser solicitados ensaios e medidas de acompanhamento e monitorização para as obras de arte.

4.4.2. Avaliação do Estado de Conservação

Após realizado o trabalho de inspeção principal, existe a necessidade de avaliar cada componente inspecionado, neste sentido é feito uma avaliação do estado conservação, indicador que traduz as condições de desgaste, de deterioração e de funcionamento em que se encontra cada componente, é uma avaliação quantitativa e definida numa escala numérica variável entre 0 e 5, este indicador permite ainda determinar a prioridade pelas quais as componentes devem ser intervencionadas, tendo em vista a correção das anomalias identificadas.

O estado de conservação (EC) a atribuir a cada componente pode ser obtido através da análise de cinco parâmetros específicos (Tabela 4-4): natureza da anomalia (n), desenvolvimento da anomalia (d), extensão da anomalia (e), função do componente (f) e consequência da anomalia (c). O estado de conservação resulta do somatório ponderado dos cinco parâmetros (Equação 4.1):

$$EC=n+d+e+f+c \quad (4.1)$$

Tabela 4-4 Avaliação dos parâmetros que influenciam o estado de conservação (Betar, 2013)

Parâmetro	Descrição	Av.	Exemplos
Natureza da anomalia (n)	Pouco grave, não traz consequências	0	Fendilhação devido a retração (má cura do betão)
	Grave, consequências na segurança	1	Fendilhação devido a assentamentos da fundação
Desenvolvimento da anomalia (d)	Nenhuma ou pequena evolução	0	Pequeno descasque no betão devido a um embate
	Grande, com evolução rápida	1	Erosão com ravinamento de um talude
Extensão da anomalia (e)	Menos de metade do valor admissível	0	Corrosão pontual de guarda corpos (menos de 50%)
	Mais de metade do valor admissível	1	Corrosão generalizada de guarda corpos (mais de 50%)
Função do componente (f)	Cumprir a função designada	0	Acumulação de sedimentos nas juntas de dilatação
	Não cumprir a função designada	1	Deslocamento excessivo do aparelho de apoio
Consequência da anomalia (c)	Não compromete a segurança e durabilidade	0	Existência de pregos de cofragem ou varões
	Compromete a segurança e a durabilidade	1	Exposição de armaduras

Nos parâmetros parciais supracitados, a avaliação estará sempre dependente do critério adotado pelos inspetores, é com base na experiência, conhecimentos técnicos e também

algum bom senso, que estes deverão contribuir para uma uniformização dos critérios utilizados, não se tratando de regras, mas apenas de conselhos que poderão ser úteis sobretudo em caso de incertezas.

Na tabela seguinte apresenta-se uma classificação final, somando as pontuações parciais e a interpretação dos respetivos estados de conservação.

Tabela 4-5 Significado dos estados de conservação (Betar, 2013)

Estado de conservação	Significado
0	Estado de conservação muito bom. Não é necessário efetuar qualquer tipo de reparação.
1	Estado de conservação bom. Existem alguns defeitos, mas sem importância no comportamento e durabilidade. Não é necessário qualquer reparação.
2	Estado de conservação razoável. Detetados defeitos com alguma importância no comportamento e durabilidade. É necessário efetuar reparação, mas não justifica uma intervenção prioritária.
3	Estado de conservação mau. Funcionamento defeituoso com importância, em especial na durabilidade. São necessárias reparações a médio prazo (3 a 5 anos).
4	Estado de conservação muito mau. Funcionamento defeituoso com importância na durabilidade e o comportamento. O componente não cumpre o nível de serviço para o qual foi concebido. São necessárias reparações prioritárias a curto prazo (1 a 2 anos).
5	Estado de conservação extremamente mau. Perigoso para a segurança dos utentes. São necessárias reparações imediatas e altamente prioritárias. Eventualmente, pode-se optar também por intervenções mais radicais, como, por exemplo, substituição ou até mesmo demolição.

Definido o real estado de conservação de cada obra, cabe ao inspetor recomendar e quantificar os trabalhos de reparação, incluindo uma estimativa de custos.

Na Figura 4-4 é proposto um fluxograma com os principais procedimentos a realizar numa inspeção principal.

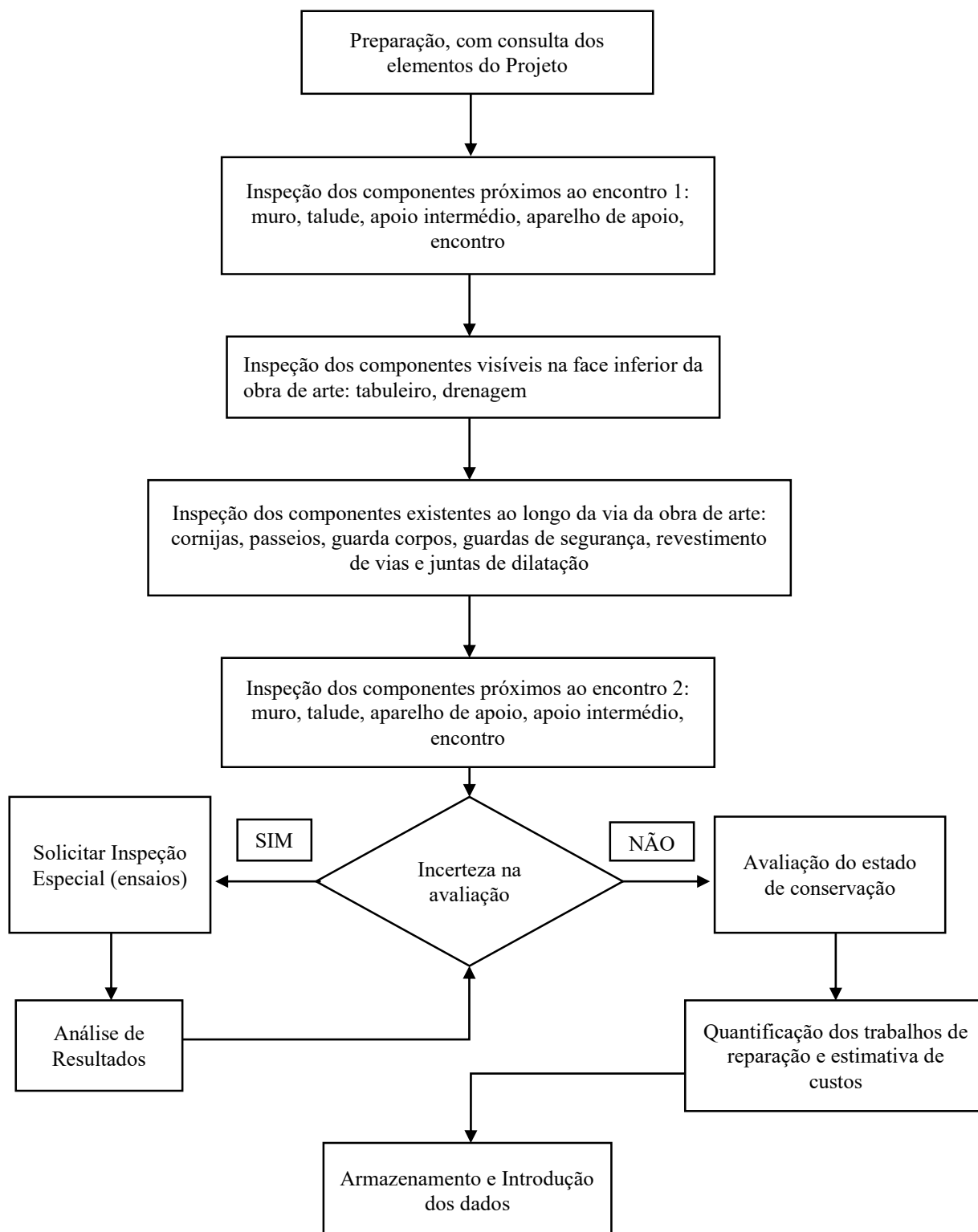


Figura 4-4 Fluxograma proposto para a realização de uma inspeção principal

4.5. Inspeção Especial

Este tipo de inspeção não tem uma periodicidade definida para ser efetuada, isto porque surge normalmente após uma inspeção principal, ou seja quando é verificado uma

anomalia cuja causa, extensão e gravidade não é totalmente conhecida e quando a sua avaliação é fundamental para garantir a segurança e a durabilidade da estrutura.

Numa inspeção especial recorre-se normalmente a meios elevatórios amovíveis e à realização de ensaios, permitindo identificar: a qualidade dos materiais; o grau de deterioração dos materiais; o impacto que a anomalia provoca na resistência dos vários componentes e a sua evolução (Betar, 2013).

Como os custos envolvidos neste tipo de inspeção são elevados, é fundamental uma escolha racional dos ensaios a realizar bem como dos equipamentos a utilizar. O tipo de ensaio deve ser definido consoante os resultados pretendidos, a precisão exigida, a extensão da estrutura, a verba disponível, e no caso de ensaios destrutivos, a perturbação que é introduzida na utilização da obra de arte.

Os resultados obtidos neste tipo de inspeção servem de base para delinear uma estratégia de intervenção que poderá passar pela execução de um projeto de reabilitação da estrutura implicada ou apenas definindo um acompanhamento da obra de arte (monitorização das anomalias)

4.5.1. Tipos de ensaios realizados

Podemos recorrer a vários ensaios consoante a sua especificidade de utilização e o que se pretende medir.

Num primeiro agrupamento podemos diferenciar os ensaios em mecânicos, físicos ou químicos. Os ensaios mecânicos permitem conhecer a resistência dos materiais e as suas características (e.g. ensaios de tração e compressão). Os ensaios físicos permitem identificar as características físicas dos materiais, nomeadamente densidade, permeabilidade, porosidade, absorção, teor em água, entre outras características. Os ensaios químicos são efetuados para se identificar a composição química, nomeadamente a composição do betão (dosagem de cimento).

Num segundo grupo, podemos diferenciar os ensaios destrutivos dos ensaios não destrutivos. Os ensaios destrutivos temos que englobar principalmente a extração de carotes para determinar a capacidade resistente dos materiais e sua deformabilidade. Nos ensaios não destrutivos destacam-se os seguintes ensaios de diagnóstico das características dos

materiais: esclerómetros; ultra-som; radioscopia; medição de recobrimentos; determinação do teor em cloretos.

Na Tabela 4-6 estão identificados os principais ensaios realizados numa inspeção especial.

Tabela 4-6 Principais ensaios realizados numa inspeção especial (Betar, 2013)

Ensaio	Objetivo	Descrição
Análise petrográfica	Avaliação da qualidade, composição e deterioração química do betão	Execução de lâminas delgadas de betão para análise ao microscópio
Ensaio de compressão triaxial	Determinação dos parâmetros de resistência e deformabilidade	Aplicação de um estado hidrostático de tensões e de um carregamento axial sobre um provete dentro de uma câmara de ensaio
Ensaio esclerómetro	Avaliação da uniformidade e qualidade do betão bem como da estimativa da resistência à compressão	Projeção de elemento metálico com uma massa normalizada que é projetado contra a superfície do betão com uma energia definida, o ricochete da massa é medido e relacionado com a dureza superficial do betão
Medição da profundidade de carbonatação	Determinação da progressão da carbonatação desde a superfície do betão até o seu interior	A profundidade de carbonatação é medida aspergindo uma solução de indicador ácido/base numa superfície de betão recentemente fraturada
Medição do teor de cloretos	Determinação da profundidade de penetração de cloretos no betão, sobretudo em ambientes marítimos	São extraídas amostras de betão com cerca de 10 mm de diâmetro, através de furos a diferentes profundidades. O pó resultante é recolhido e posteriormente analisado em laboratório
Medição de recobrimento	Deteção da posição das armaduras, suas dimensões e recobrimento (e.g. pacómetro)	Utilização de aparelho portátil, composto por um detetor eletromagnético e por uma unidade de leitura.
Medição do potencial elétrico	Determina a probabilidade de deteção de corrosão nas armaduras. A diminuição do potencial de corrosão do aço aumenta a probabilidade deste se encontrar despassivado	Medição do potencial elétrico das armaduras relativamente a um eléctrodo de referência colocado à superfície do betão (eléctrodo de cobre/sulfato de cobre ou prata/cloreto de prata)
Medição do teor de alcalis e sulfatos	Avaliação das reações álcalis-sílica associadas à presença de inclusões de sílica reativa na brita utilizada no betão	Sondar a superfície do betão com um martelo, e em caso de descasque, confirmar a presença de alcalis e sulfatos em laboratório
Medição do teor de humidade	Fornecer informação qualitativa acerca da velocidade de corrosão após as armaduras se tornarem ativas	Executam-se furações à profundidade pretendida colocando-se no interior do betão um sensor de humidade

Numa abordagem exemplificativa, se houver suspeita de corrosão das armaduras, pode recorrer-se à medição do potencial elétrico, do recobrimento das armaduras, da permeabilidade ou do teor de cloretos no betão. A combinação de ensaios oferece um melhor diagnóstico na definição da patologia.

4.5.2. Outros trabalhos que podem ser efetuados

Para além das atividades referidas anteriormente, é possível realizar trabalhos complementares de modo a avaliar e acompanhar o comportamento das obras de arte.

- **Ensaio de carga-** A fim de avaliar a capacidade de carga e as características intrínsecas da estrutura podem ser realizados ensaios de carga. Os ensaios de carga podem ser divididos em dois tipos:
 - a) **Ensaio de carga estática:** tem por finalidade comprovar se as condições de carga, isto é, se as ações que a ponte vai estar submetida durante a sua vida útil ajusta-se ao comportamento previsto no projeto. As medições a efetuar (e.g. cargas, tensões, deslocamentos e deformações) deverão ser suficientes para permitir uma correta avaliação do comportamento da estrutura.
 - b) **Ensaio de carga dinâmica:** tem por finalidade determinar os parâmetros que identificam as características intrínsecas da estrutura, nomeadamente as frequências de vibração, coeficiente de amortecimento, acelerações e coeficientes de amplificação dinâmica e também detetar anomalias de caráter funcional nomeadamente movimentos imprevistos nos aparelhos de apoio e vibrações excessivas.

- **Trabalhos de monitorização**

Nos últimos anos tem-se vindo a tomar consciência da importância da verificação experimental das condições de segurança e da operacionalidade das obras de maior dimensão, através de adequados trabalhos de monitorização durante e após a construção.

Os trabalhos de monitorização são úteis pois permitem avaliar *in situ* a integridade das estruturas bem como a sua durabilidade, ou seja, conhecendo o seu estado, é possível detetar precocemente eventuais anomalias, de modo a intervir atempadamente evitando assim situações que possam comprometer a segurança dos utilizadores.

Uma monitorização consiste na aquisição de registos contínuos que possibilitem analisar e estudar o comportamento da estrutura quer na fase de construção quer na fase de utilização.

Na fase de construção, a monitorização permite registos como o controlo dos materiais, a medição de deformações e tensões, enquanto na fase de utilização o sistema de

monitorização deverá incluir instrumentação das seções e elementos mais significativos da estrutura. Essa de monitorização pode ser efetuada à custa da instalação de equipamentos donde se destacam:

- fissurómetros;
- extensómetros;
- “testemunhos” de gesso;
- medições topográficas;
- termómetros.

A introdução de sensores nas estruturas permite detetar em qualquer instante todo tipo de situação anómala e o acompanhamento da sua evolução.

Na RAM temos o caso da monitorização de algumas obras de arte, em que são utilizados extensómetros de corda vibrante que medem as deformações dos respetivos tabuleiros de betão, bem como da monitorização da temperatura no interior do betão, pois é fundamental na interpretação do estado de corrosão. A utilização combinada de vários tipos de sensores apresenta uma boa solução na monitorização das estruturas, porque, com a utilização destes equipamentos, é possível identificar, por exemplo, deformações excessivas ou inesperadas, de modo a se recomendar trabalhos corretivos.

4.6. Inspeção Subaquática

Este tipo de inspeção é realizado apenas nos casos em que existam elementos submersos e implica o recurso a técnicas de sondagem subaquática e a pessoal especializado em mergulho. Este tipo de inspeção não é abordado nesta dissertação visto que na Região Autónoma da Madeira não é relevante, na medida em que existem linhas de água de pequena importância (i.e. ribeiras), em que normalmente os maciços de fundação dos apoios intermédios (quando estão localizados no sei leito) não se encontram submersos.

4.7. Modelo do ciclo das inspeções

As inspeções devem manter uma periodicidade regular, salvo em condições excecionais, nomeadamente acidentes ou após uma inspeção que detete uma anomalia mais grave e seja necessário requerer uma inspeção complementar.

A primeira inspeção deverá, idealmente, ser efetuada após a conclusão da construção da obra de arte, criando um estado de referência. Poderá servir também para avaliar defeitos de construção e que deverão ser revolidos no âmbito da garantia de construção.

As inspeções de rotina devem ser efetuadas anualmente, repetindo-se nos seguintes quatro anos, culminando num quinto ano, numa inspeção principal, de modo a completar-se um ciclo de inspeção. Este ciclo só é interrompido quando existe incertezas na avaliação ou na deteção de anomalias mais graves, nesta situação o inspetor deverá solicitar a realização de uma inspeção principal ou até mesmo de uma inspeção especial.

As inspeções principais devem ser realizadas no fim de cada ciclo, ou seja, a cada cinco anos é efetuado uma avaliação do estado de conservação e um registo detalhado das condições de funcionamento da ponte de modo a detetar todas as anomalias mais graves instaladas que possam comprometer o bom desempenho dos componentes da ponte, quer ao nível de durabilidade quer a nível de segurança. Do mesmo modo, pode acontecer numa inspeção de rotina, sempre que surgir incertezas no diagnóstico, nomeadamente na causa, na extensão ou na evolução da anomalia, deve ser solicitado a realização de uma inspeção principal de forma a realizarem-se ensaios que permitem avaliar com mais rigor e segurança, o estado real da estrutura.

As inspeções especiais não seguem uma periodicidade definida, pois devem ser realizadas apenas quando solicitadas.

Na Figura 4-6 está representado uma proposta para um modelo de um ciclo de inspeções de uma obra de arte durante cinco anos. Estes ciclos devem realizar-se até ao fim da vida útil da obra de arte.

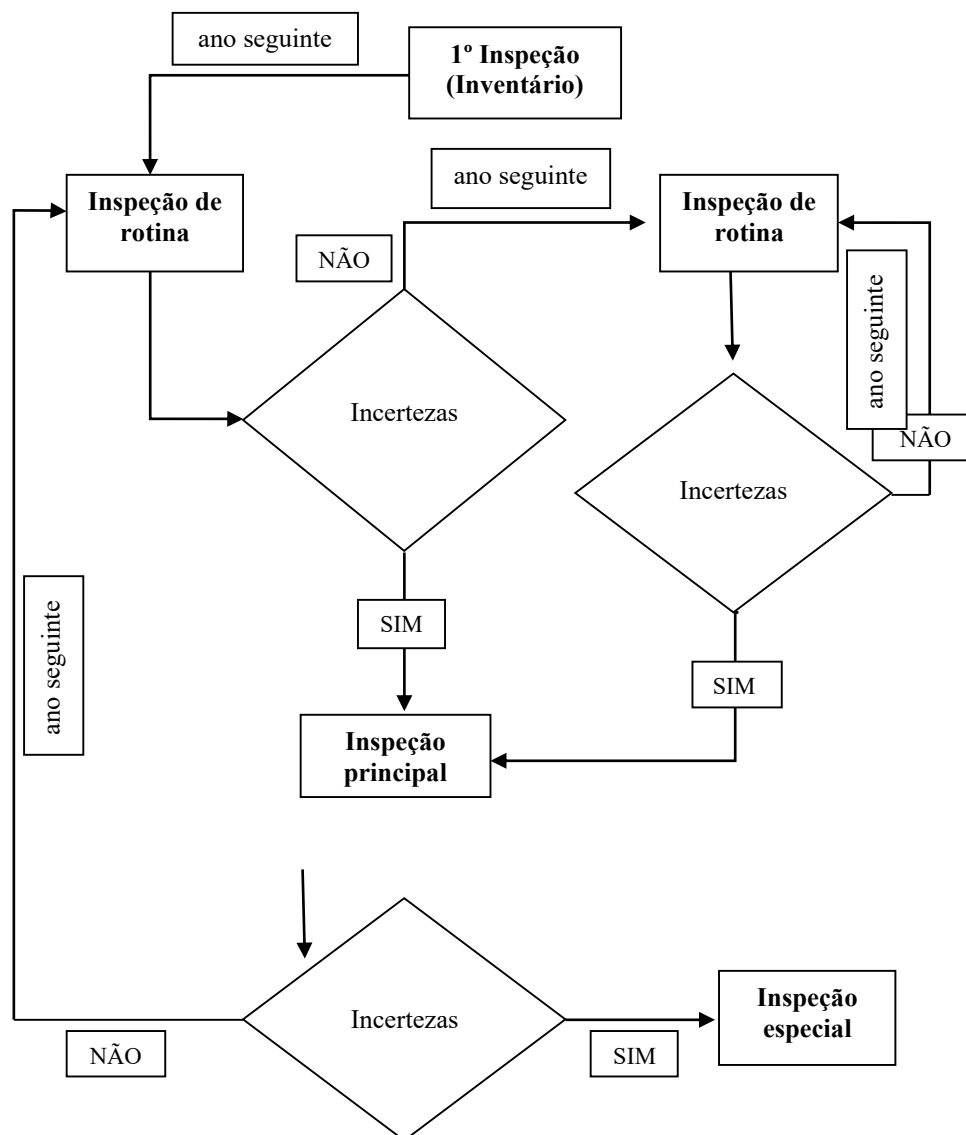


Figura 4-6 Fluxograma proposto para um modelo de ciclo de inspeções

Refira-se que este modelo não deverá servir como regra, apenas como exemplo indicativo a seguir no planeamento das respetivas inspeções, isto porque a especificidade do comportamento do material, bem como a incerteza e os condicionamentos da envolvente (e.g. acidentes e desastres naturais), não permitem definir períodos certos de inspeção.

Nesta seção constatou-se a importância da implementação de um sistema de gestão de obras de arte, referindo que a sua utilização é uma ótima forma dos Donos-de-Obra terem um visão global dos estados de manutenção e de conservação das suas pontes e viadutos, fazendo um atempado e correto planeamento das intervenções a realizar.

5. ESTUDO E ANÁLISE DE UM CONJUNTO DE OBRAS DE ARTE

Neste capítulo, apresenta-se a análise de um conjunto de obras de arte existentes na Região Autónoma da Madeira (RAM), procurando identificar as anomalias mais frequentes, as suas causas mais prováveis, bem como o seu estado de manutenção e de conservação. A análise foi efetuada com base em relatórios de inspeção disponibilizados pela Betar.

5.1. Amostra dos casos de estudo

As obras de arte selecionadas correspondem a um subconjunto de obras inseridas na rede concessionada à Via Expresso, inspecionadas pela Betar no âmbito da inspeção de rotina efetuada em 2013 (com trabalhos de manutenção propostos para 2014) e da última inspeção principal efetuada em 2010.

Numa primeira amostra (ver capítulo 5.2), selecionou-se um grupo de 138 obras de arte. A seleção deste grupo foi efetuada seguindo apenas o critério do ano de construção, isto é, selecionaram-se todos os tipos de obras de arte construídas após o ano civil de 1999, de modo a obter uma amostra mais homogénea em termos de idade de construção e material, ou seja, focando o estudo para obras de arte com uma idade aproximada (aproximadamente 15 anos) e igual material de construção (betão armado e pré-esforçado).

Numa segunda etapa (ver capítulo 5.3), o critério de seleção foi o tipo de obra de arte, sendo que o grupo ficou restringido a uma amostra de 36 obras de arte, correspondendo a pontes e viadutos, de modo a efetuar-se uma análise mais profunda do tipo de obras de arte tratadas no âmbito do tema da dissertação. A caracterização desta amostra deve ser consultada no anexo C.

5.2. Tipos de obras de arte

O resultado desse filtro foi uma amostragem com 138 obras de arte, tendo em comum o facto de serem em betão armado e pré-esforçado, o que corresponde à análise pretendida no âmbito do presente trabalho. Esse universo particular de 138 obras de arte é composto

por 52 túneis, 32 pontes, 27 passagens hidráulicas, 9 passagens superiores, 6 passagens de peões, 6 viadutos, 3 passagens agrícolas e 3 passagens inferiores. No gráfico seguinte, indicam-se as diferentes percentagens de acordo com os tipos de obras de arte analisadas.

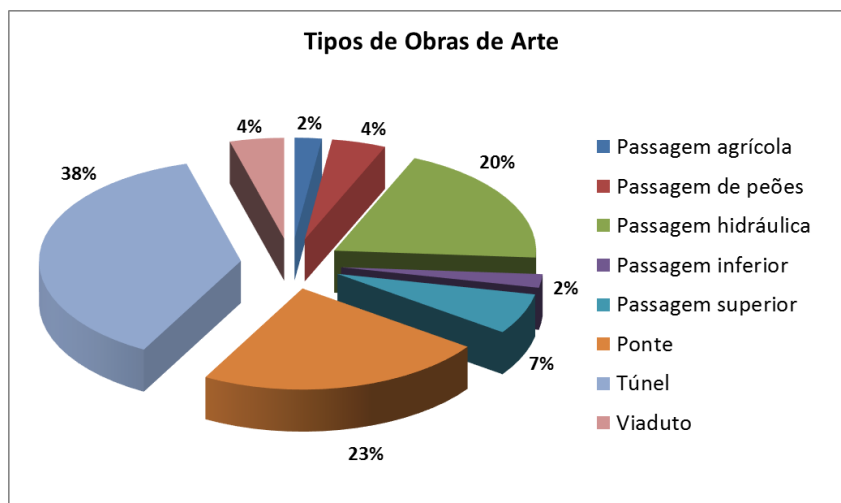


Figura 5-1 Tipos de obras de arte analisadas e sua percentagem relativa

5.2.1. Estados de manutenção e trabalhos de manutenção

Os estados de manutenção são atribuídos de acordo com a necessidade de se efetuarem limpezas (trabalhos correntes) ou pequenas reparações (trabalhos não correntes) nas obras de arte, em que são avaliados todos os componentes de cada obra de arte. Se houver a necessidade de se efetuar algum desses trabalhos, ao componente é atribuído uma classificação de “Mau”. Caso contrário, é atribuída a classificação de “Bom”.

Com base nos relatórios de inspeção de rotina de 2013, analisou-se os estados de manutenção e os trabalhos de manutenção recomendados para 2014. Através da análise da Figura 5-2, constata-se que a maioria das obras de arte (91%) estão classificadas com “Mau” estado de manutenção e conseqüentemente apresentam necessidades de manutenção.

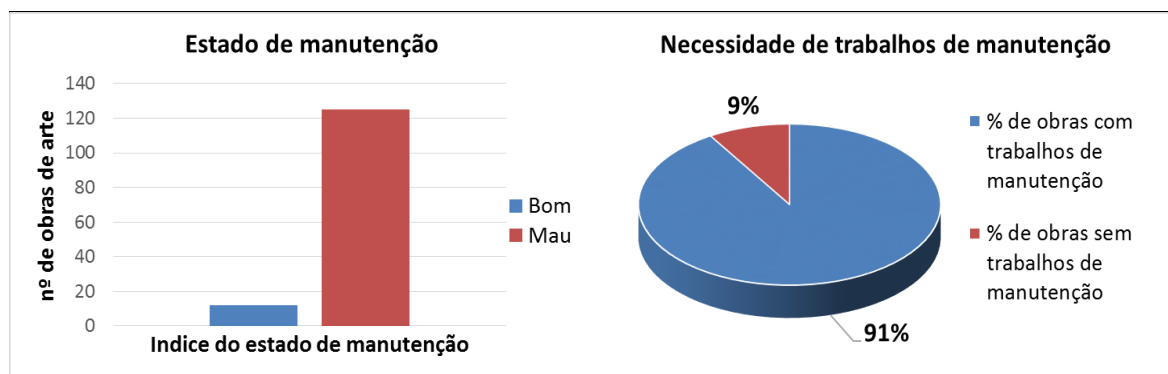


Figura 5-2 Estado de manutenção e necessidade de trabalhos de manutenção

Este resultado é discutível, porque basta haver uma componente avaliada com um mau estado de manutenção para ser atribuída à generalidade da obra de arte o estado de manutenção “Mau”, não representando da melhor maneira o estado geral de manutenção de cada obra. Atualmente, a Betar já utiliza uma classificação distinta da apresentada, traduzindo de forma mais adequada as situações das obras, do ponto de vista da manutenção.

Para as 138 obras de arte foram atribuídos trabalhos de manutenção a serem efetuados ao longo do ano de 2014. Esses trabalhos foram contabilizados e ordenados na tabela seguinte.

Tabela 5-1 Trabalhos de manutenção atribuídos

TRABALHOS DE MANUTENÇÃO ATRIBUÍDOS	% relativa de trabalhos recomendados
Limpeza de superfícies horizontais e verticais	22,17
Pintura da superfície metálica com corrosão pontual, em zonas localizadas	15,37
Limpeza de taludes	11,08
Preenchimento ou selagem de fendas na via	10,58
Limpeza de órgãos de drenagem	10,08
Remoção de pregos de cofragem ou varões	6,80
Limpeza de via	6,30
Limpeza de passeios	3,53
Limpeza de juntas de dilatação	2,52
Preenchimento ou selagem de buracos em revestimento de via, com betuminoso	2,27
Preenchimento ou selagem de juntas de dilatação ou construção entre elementos de betão	2,27
Pintura da superfície de betão ou superfícies rebocadas em zonas localizadas	2,02
Preenchimento ou selagem de juntas entre elementos de revestimento ou na transição	1,51
Reaperto ou verificação de aperto de fixações, em guardas	1,26
Outros trabalhos de manutenção	2,27

Da tabela anterior, destacam-se os vários trabalhos de limpeza atribuídos, perfazendo mais de metade do tipo de trabalhos de manutenção a serem efetuados ($\approx 56\%$), os trabalhos de pintura ($\approx 18\%$) e os trabalhos associados a pequenas reparações, nomeadamente preenchimento ou selagem de diversos elementos ($\approx 17\%$). Refira-se, ainda, a persistência de anomalias resultantes do processo construtivo, mais propriamente a existência de pregos de cofragem ($\approx 7\%$).

As anomalias que estão associadas à frequência dos trabalhos de manutenção verificados são, essencialmente:

- acumulação de água e/ou sedimentos;

- manchas, escorrências ou eflorescências nas superfícies do betão;
- corrosão dos elementos metálicos;

As causas que originam a maior parte das anomalias verificadas nas inspeções de rotina nas obras de arte são, principalmente:

- erros de execução;
- drenagem insuficiente ou inexistente;
- ausência de elementos;
- falta de manutenção;
- desgaste dos elementos ou dos equipamentos;
- embate de viaturas.

5.2.2. Estados de conservação e trabalhos de reparação

Os estados de conservação, como já foi referido anteriormente, são classificações quantitativas que traduzem as condições de desgaste, de deterioração e de funcionamento em que se encontra cada obra de arte. Em conformidade com as inspeções, são atribuídos trabalhos de acordo com a necessidade de efetuar-se reparações ou substituições nas obras de arte, sendo avaliados todos os componentes de cada obra.

Com base nos relatórios de inspeções principais de 2010, analisaram-se os respetivos estados de conservação das obras de arte e a quantidade de obras com trabalhos de reparação atribuídos.

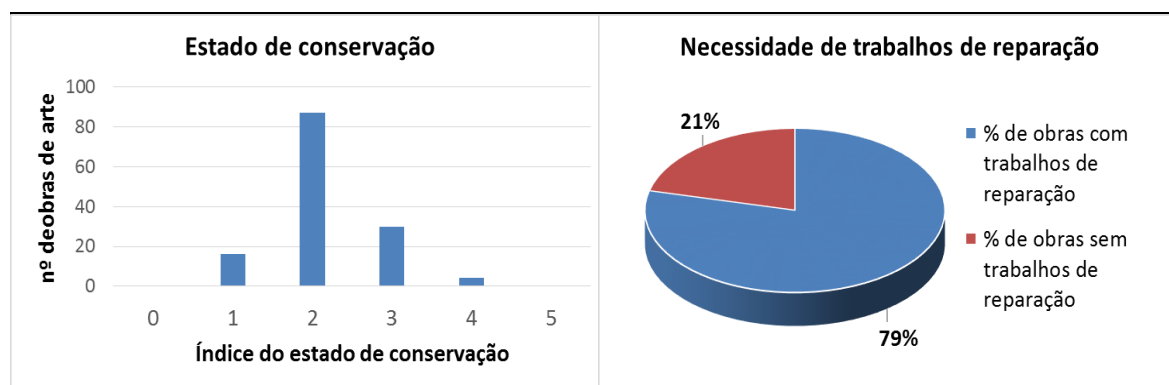


Figura 5-3 Estado de conservação e necessidade de trabalhos de reparação

Após a análise da Figura 5-3, constata-se que a maioria das obras de arte (87) estão avaliadas com um estado de conservação “2”, sendo este um estado de conservação razoável, correspondem a defeitos com pouca importância para o comportamento e a durabilidade.

Em relação aos trabalhos de reparação, constatou-se que foi necessário intervir em 21% das obras de arte, sendo que na sua maioria não se justificava uma intervenção

prioritária. Apenas 4 obras de arte necessitavam de trabalhos de reparação prioritários a curto prazo (1 a 2 anos), tendo sido classificadas com estado de conservação “4”, nível de conservação muito mau, com funcionamento defeituoso de alguns componentes (com importância na durabilidade e/ou no comportamento) não cumprindo o nível de serviço para o qual foram concebidas.

Das 138 obras de arte analisadas, em 79% foram atribuídos trabalhos de reparação com recomendação no tempo de intervenção mediante a classificação do estado de conservação, sendo efetuadas essas reparações ao longo dos anos seguintes. Esses trabalhos foram contabilizados e ordenados na tabela seguinte.

Tabela 5-2 Trabalhos de reparação atribuídos

TRABALHOS DE REPARAÇÃO ATRIBUÍDOS	% relativa de trabalhos de reparação recomendados
Preenchimento ou selagem por injeção de fendas ou fissuras no betão	38,95
Reparação do betão em profundidade (> 30 mm), limpando e substituindo ou reforçando as armaduras, e aplicando argamassa	10,11
Substituição ou colocação de bueiros em muros ou encontros	7,49
Preenchimento ou selagem superficial de juntas de fendas ou fissuras no betão	7,12
Pintura de superfície metálica com decapagem total	6,37
Restabelecimento ou reconstrução do revestimento betuminoso de via	5,62
Substituição ou colocação de pingadeira em tabuleiros	4,12
Reparação do betão em profundidade (> 30 mm), limpando e substituindo ou reforçando as armaduras, aplicando betão	2,62
Substituição ou colocação de tubagem de drenagem do tabuleiro	1,87
Restabelecimento ou reconstrução de taludes com pedra arrumada ou solos selecionados	1,87
Pintura da superfície metálica em guarda corpos incluindo preparação de superfície (com decapagem total), geral	1,87
Reparação de aparelhos de apoio	1,87
Reparação de sistema de iluminação geral	1,87
Substituição ou colocação de caleiras de drenagem sob a junta de dilatação	1,50
Substituição ou colocação de juntas de dilatação em neoprene reforçado, com um deslocamento até ± 80 mm	1,50
Substituição ou colocação de sumidouros/sarjetas e gárgulas de drenagem do tabuleiro	1,50
Outros trabalhos de reparação	3,75

Da tabela anterior, destaca-se o preenchimento ou selagem de fendas ou fissuras no betão em quase metade do tipo de trabalhos de reparação a ser efetuado ($\approx 46\%$), substituição de variados elementos ($\approx 18\%$) e reparação do betão em profundidade ($\approx 13\%$).

As anomalias que estão associadas à frequência dos trabalhos de reparação verificados são, essencialmente:

- fendilhação;
- exposição e corrosão de armaduras;
- deterioração dos equipamentos.

As causas que originam a maior parte das anomalias detetadas nas inspeções principais das obras de arte são, principalmente:

- erros de execução (cofragem, betonagem e descofragem);
- retração do betão;
- infiltração de água pelo bordo do tabuleiro por falta de pingadeira.

5.3. Pontes e Viadutos

Numa segunda seleção, de modo a restringir a amostra, os critérios aplicados para filtrar as respetivas obras foram:

- obras de arte com ano de construção superior a 1999;
- tipo de obra igual a “ponte” ou “viaduto”.

O resultado desse filtro foi uma amostragem com 36 obras de arte, tendo em comum o facto de serem em betão armado e pré-esforçado, o que corresponde à análise pretendida no âmbito do presente trabalho. Este universo particular de 36 obras de arte é composto por 30 pontes e 6 viadutos.

5.3.1. Estado de manutenção

A grande maior parte das pontes e viadutos seguem a mesma tendência que as obras de arte em geral. Neste caso particular, apenas 3% apresentavam-se em bom estado de manutenção e não necessitavam de trabalhos de manutenção (Figura 5-4).

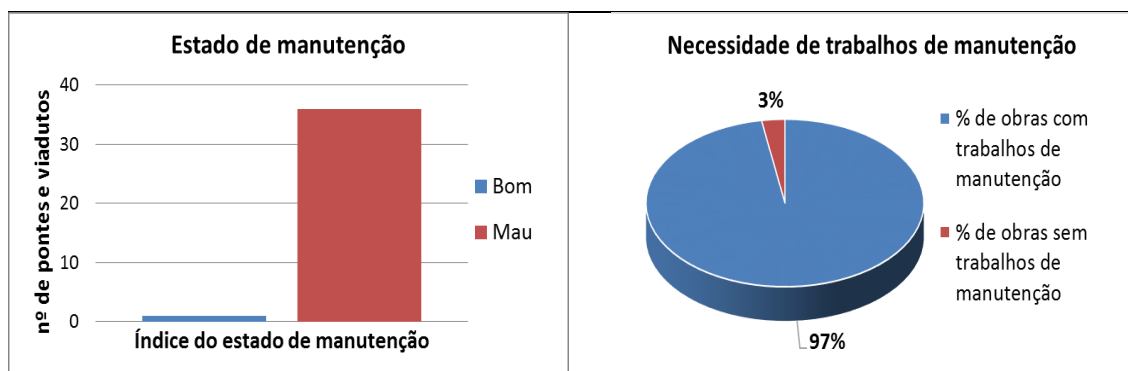


Figura 5-4 Estado de manutenção em pontes e viadutos e necessidade de trabalhos de manutenção

Este resultado discrepante é explicado pela sensibilidade do sistema de avaliação utilizado, ou seja, a necessidade de efetuar trabalhos de manutenção num único componente (e.g. limpeza num encontro causado pela acumulação de sedimentos) é suficiente para classificar a ponte ou viaduto com estado de manutenção mau.

5.3.2. Estado de conservação

Com base nos relatórios de inspeção principal de 2010, analisaram-se os respetivos estados de conservação das pontes e viadutos, e os trabalhos de reparação recomendados. É através destas avaliações que são atribuídos trabalhos de reparação.

Os estados de conservação atribuídos ao subconjunto de pontes e viadutos refletem a tendência das obras de arte verificadas em 5.2.2.

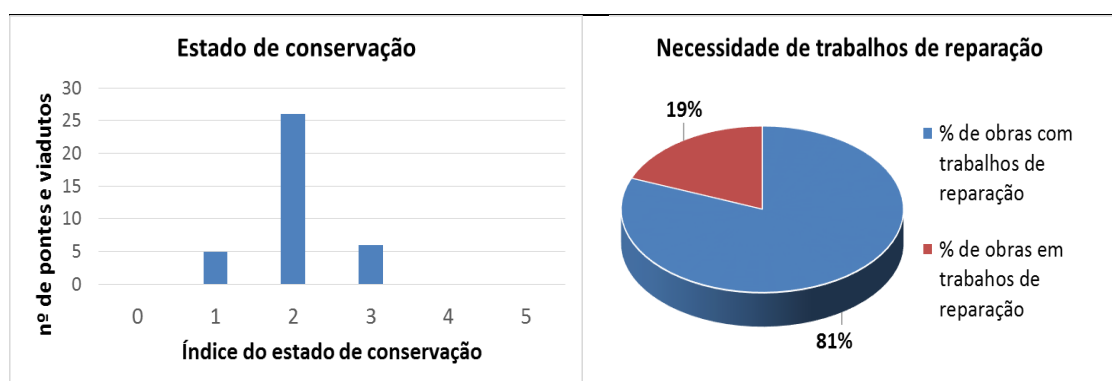


Figura 5-5 Estado de conservação em pontes e viadutos e necessidade de trabalhos de reparação

Após a análise da Figura 5-5, constata-se que a maioria das pontes e viadutos (26) estão avaliadas com um estado de conservação “2”.

Em relação aos trabalhos de reparação, foi necessário intervir em 81% das pontes e viadutos, sendo que na maior parte dos casos não se justificava uma intervenção prioritária, dado que apenas em 6 obras foram identificados componentes com funcionamento defeituoso, necessitando de trabalhos de reparação a médio prazo (3 a 5 anos).

Saliente-se que nenhuma das obras do universo restrito em análise apresenta estado de conservação “4” ou “5”, refletindo em geral estados de conservação aceitáveis para a idade das obras em questão, cumprindo os níveis de comportamento em serviço para os quais foram concebidas, oferecendo segurança aos utentes.

5.3.3. Custos atribuídos aos componentes

A análise dos relatórios de rotina elaborados em 2013 permitiu a atribuição de trabalhos de manutenção realizados em 2014, bem como a definição dos respetivos custos.

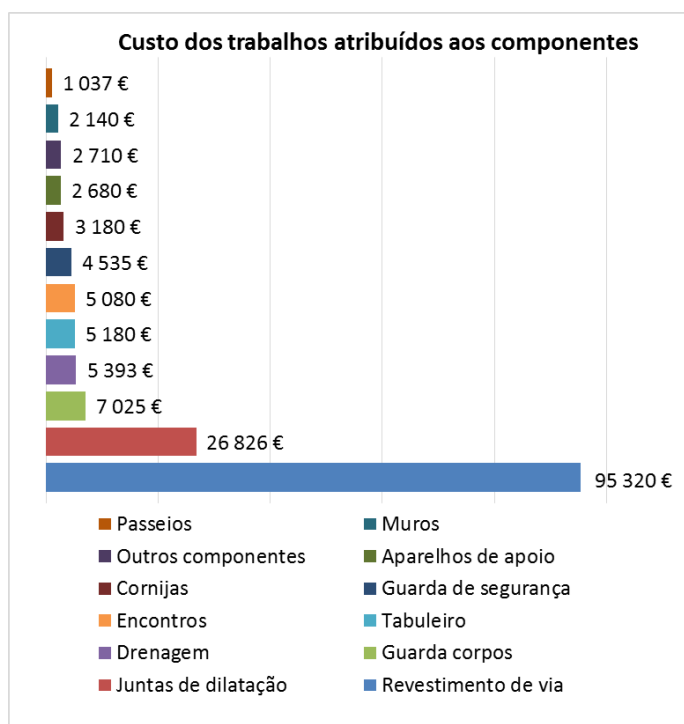


Figura 5-6 Custo dos trabalhos atribuídos por componente

Através da figura anterior, verifica-se que, para as 36 pontes e viadutos analisados, o revestimento de vias foi o componente que obteve os maiores custos de manutenção associados ($\approx 95.000\text{€}$). Saliente-se que esse valor é praticamente o resultado de trabalhos atribuídos a 3 das 36 obras de arte ($\approx 80.000\text{€}$), pelo que não reflete a maioria do componente “revestimento de via”.

Em segundo lugar, foram as juntas de dilatação que comportavam um custo mais significativo ($\approx 27.000\text{€}$), este resultado é obtido devido às anomalias verificadas com o revestimento de vias, na medida em que foram necessários trabalhos de preenchimento/selagem no remate entre as juntas de dilatação e o pavimento. Os restantes componentes tiveram custos relativamente residuais.

5.3.4. Análise individual dos componentes

De forma a fazer uma avaliação mais específica, optou-se por abordar os componentes que acarretaram maiores custos de retificação. Neste sentido, analisou-se individualmente o revestimento de vias, os encontros, as juntas de dilatação, os guarda corpos, os sistemas de

drenagem, o tabuleiro e os aparelhos de apoio, registrando as anomalias visíveis e as suas causas mais prováveis

5.3.4.1. Encontros

Nos encontros das obras analisadas, verificou-se através da análise apresentada no gráfico seguinte, que a “limpeza de superfícies horizontais e verticais” representa 67% dos trabalhos de manutenção atribuídos. Estes trabalhos são particularmente relevantes porque a ação da água, quando mal encaminhada, provoca anomalias nas superfícies de betão. Em consequência, o segundo trabalho de manutenção com maior atribuição está relacionado com a “execução de pendentos para drenagem de água em superfícies horizontais” (17%).

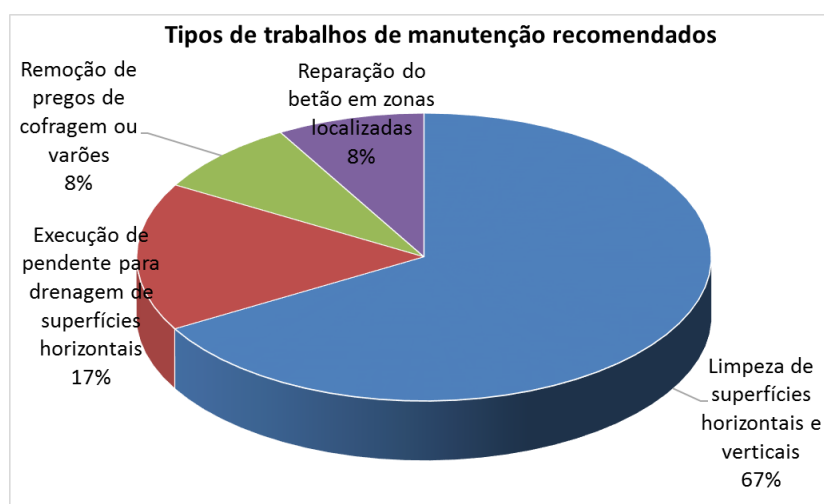


Figura 5-7 Tipo de trabalhos de manutenção nos encontros e a sua distribuição relativa

Através dos trabalhos atribuídos, verifica-se que as principais anomalias resultantes da falta de manutenção dos encontros são o aparecimento de:

- acumulação de água e/ou sedimentos;
- manchas;
- escorrências;
- eflorescências.

As causas mais comuns para o aparecimento das anomalias supracitadas são:

- erros de execução;
- drenagem deficiente ou ausência de órgãos de drenagem;
- falta de estanquidade da junta de dilatação junto ao encontro, acumulando água das chuvas sobre a mesa do encontro e escorrendo em seguida pelas suas paredes;

- falta de manutenção.

Em relação aos trabalhos de reparação atribuídos nas inspeções principais, o trabalho de reparação com maior atribuição foi o “preenchimento ou selagem por injeção de fendas ou fissuras no betão” com 56% ,e, associado a este trabalho, a “reparação do betão em profundidade” com 11%, como pode ser observado na figura seguinte.



Figura 5-8 Tipo de trabalhos de reparação nos encontros e a sua distribuição relativa

Através dos principais trabalhos de reparação recomendados, identificam-se as principais anomalias nos encontros:

- fendilhação (Figura 5-10 b);
- descasque no betão;
- exposição de armaduras (Figura 5-10 a).

As causas associadas a estas anomalias são:

- erros de execução (e.g. defeitos de betonagem);
- retração do betão;
- corrosão das armaduras;
- recobrimento insuficiente.

5.3.4.2. Revestimento de via

Através dos componentes analisados, verificou-se que é essencialmente a sua degradação, através de buracos ou fendas no pavimento betuminoso, a principal anomalia verificada, sendo atribuído principalmente o trabalho de “preenchimento ou selagem de fendas com betume” (Figura 5-9). Esses trabalhos perfazem cerca de 84% da totalidade dos trabalhos atribuídos, restando 14% para trabalhos de limpeza de via (nomeadamente vegetação e sedimentos acumulados). Nos trabalhos de reparação, o preenchimento ou selagem de fendas ou buracos representam a totalidade dos trabalhos recomendados.

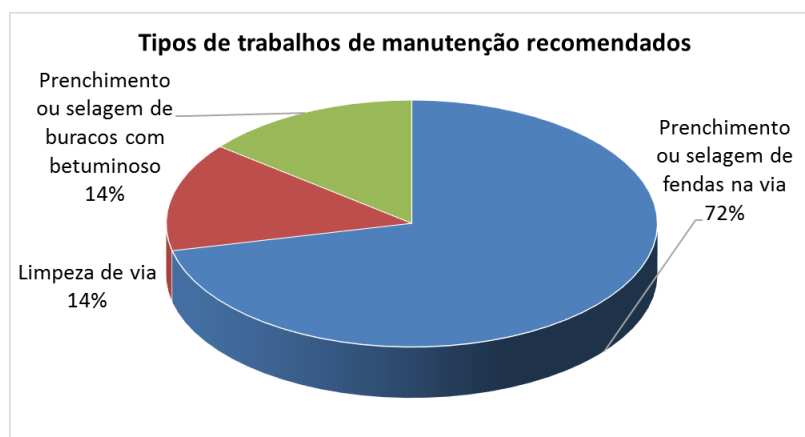


Figura 5-9 Tipo de trabalhos de manutenção nos revestimentos de vias e a sua distribuição relativa

Através dos trabalhos atribuídos, verifica-se que as principais anomalias detetadas nas inspeções realizadas são:

- fendas no revestimento da via, situada no tardo de um encontro;
- buracos (descasques) na via;
- degradação do pavimento, no remate entre o pavimento e a junta de dilatação;
- infiltrações através do revestimento
- acumulação de detritos e vegetação nas bermas das vias.

As causas mais comuns para o aparecimento destas anomalias são:

- depressão do pavimento (provocando fissuração em malha promovendo a infiltração de água para a zona no tardo de obra de arte);
- assentamento do aterro;
- deterioração da camada de desgaste do betuminoso.

Saliente-se que o coeficiente de atrito instalado na via devia ter tido considerado na avaliação, atendendo que é o componente que melhor traduz o conforto dos utentes e a sua maior ou menor segurança na utilização. Este parâmetro deve respeitar os valores limite indicados no caderno de encargos de cada obra.

5.3.4.3. Junta de dilatação

Através da análise das juntas de dilatação, conforme se ilustra na Figura 5-10, constatou-se que o trabalho de manutenção mais frequentemente prescrito foi a sua limpeza, num total de 47% dos trabalhos recomendados, seguido da substituição ou colocação de recobrimentos de fixação das juntas (33%), restando pequenos trabalhos de reparação nos módulos e na camada de transição.



Figura 5-10 Tipos de trabalhos de manutenção em juntas de dilatação e a sua distribuição relativa

Através dos trabalhos de manutenção atribuídos, verifica-se que as principais anomalias que deram origem aos respetivos trabalhos são:

- acumulação de sedimentos;
- ausência ou rotura de elementos de fixação;
- deterioração (fendilhação) da camada de transição;
- ausência ou deterioração do material de preenchimento das juntas.

A falta de manutenção e o desgaste dos elementos são as principais causas para as anomalias referidas.

Em relação aos trabalhos de reparação prescritos nas inspeções principais, o mais frequente é a colocação de caleira de drenagem sob a junta de dilatação, seguido da substituição/colocação de juntas de dilatação (ver Figura 5-11).

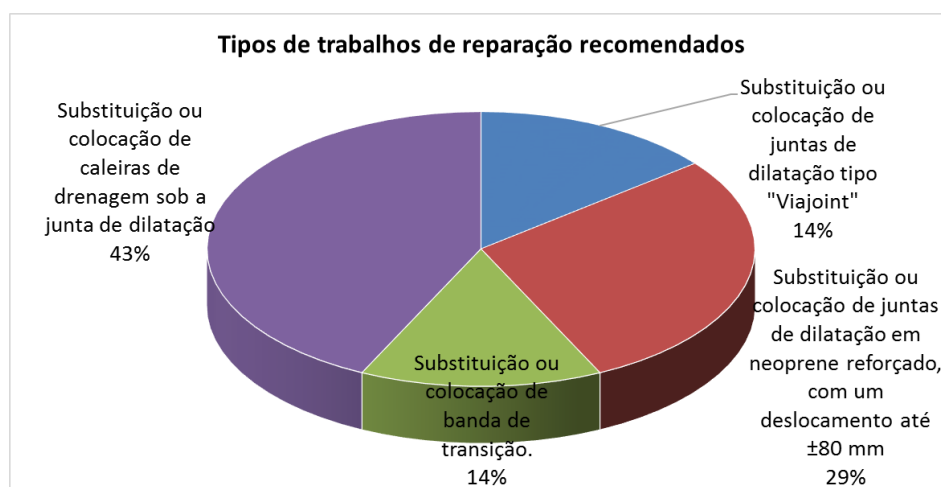


Figura 5-11 Tipos de trabalhos de reparação em juntas de dilatação e a sua distribuição relativa

Através dos principais trabalhos de reparação recomendados, constata-se que os trabalhos atribuídos estão relacionados com aspetos ligados à drenagem da água, nomeadamente “substituição/colocação de caleiras de drenagem sob a junta” (43% dos trabalhos atribuídos). Este tipo de trabalho resulta da infiltração de água pelo interior da junta, causando anomalias anteriormente verificadas nos encontros, nomeadamente escorrências e eflorescências.

As causas associadas às anomalias referidas são devidas a:

- falta de estanquidade;
- ausência de elementos.

5.3.4.4. Guarda corpos

Para os guarda corpos das obras analisadas, como indicado na figura seguinte, o trabalho de manutenção que teve maior frequência foi “pintura das superfícies metálicas” ($\approx 82\%$), restando trabalhos efetuados como por exemplo nos elementos de fixação (reaperto e reparação).

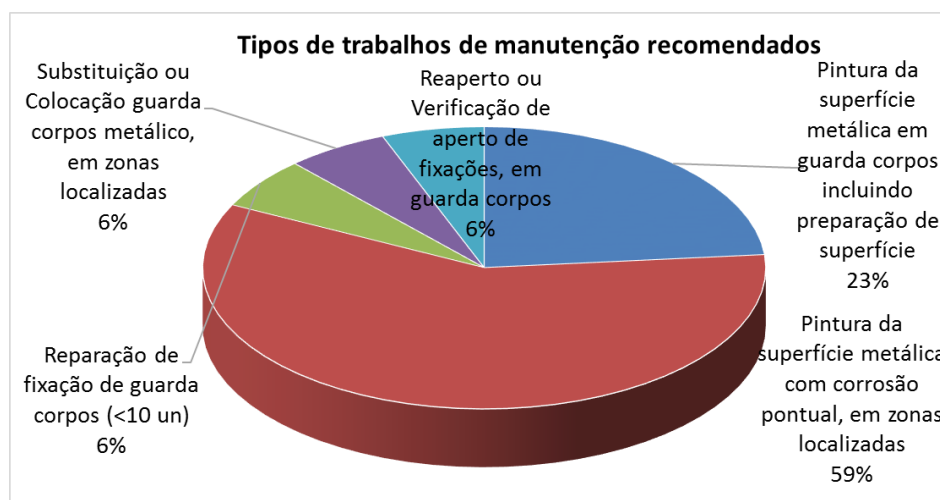


Figura 5-12 Tipos de trabalhos efetuados em guarda corpos e sua distribuição relativa

Verifica-se que as principais anomalias que ocorreram em guarda corpos são:

- descasque pontual ou generalizado da pintura;
- corrosão pontual ou generalizada da superfície metálica;
- corrosão dos elementos de fixação;
- deterioração no betão (acrotérios);
- desalinhamento dos perfis.

As causas mais comuns para o aparecimento das anomalias detetadas na inspeção de rotina são:

- má colocação dos elementos;
- má fixação das bases;
- embate de viaturas.

5.3.4.5. Sistema de drenagem

Em relação ao componente sistema de drenagem, a análise efetuada baseou-se na inspeção de rotina e nos respetivos trabalhos de manutenção recomendados.

Através da análise da figura seguinte, verificou-se que o trabalho mais atribuído foi “limpeza de órgãos de drenagem” (37%), seguido de trabalhos de reparação ou substituição de elementos do sistema de drenagem (tubos de queda, mangas, caleiras e sumidouros). Saliente-se que o trabalho “reparação do betão em zonas localizadas” resulta da insuficiente drenagem do sistema, permitindo a infiltração e escorrência de água no betão, havendo necessidade de reparação local.

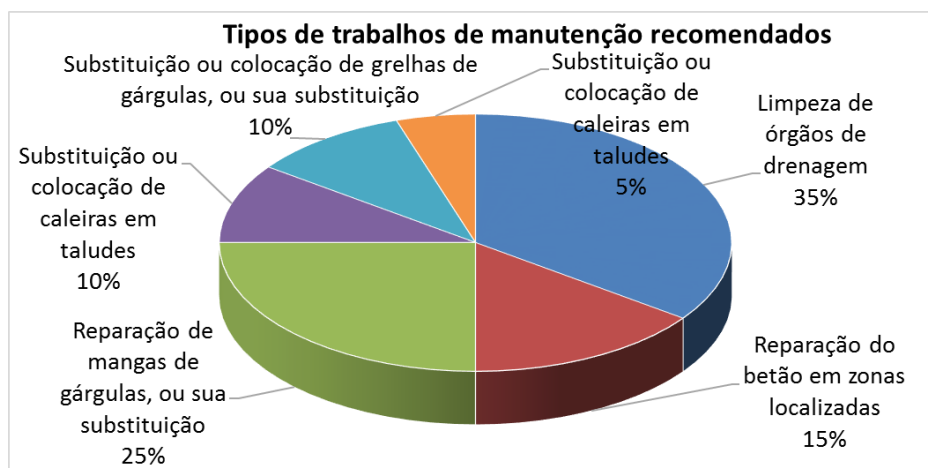


Figura 5-13 Tipos de trabalhos efetuados em sistemas de drenagem e sua distribuição relativa

Através dos trabalhos atribuídos, verifica-se que as principais anomalias relacionadas com deficiente drenagem de água são:

- escorrência de água pelas superfícies do betão;
- infiltração de água no interior betão;
- degradação do betão (consequência);
- corrosão das armaduras.

As causas mais comuns para o aparecimento das anomalias detetadas na inspeção de rotina são:

- falta de manutenção;

- obstrução de sedimentos ou vegetação nos elementos de drenagem;
- conceção incorreta do sistema de drenagem;
- execução defeituosa;
- ausência de elementos ou órgãos de drenagem;
- falta de ligação de caleiras, valetas ou tubagens;

Saliente-se que este ultimo componente é fundamental na manutenção e conservação de uma obra de arte, na medida em que a sua ausência ou funcionamento incorreto pode provocar muitas anomalias em quase todos os componentes da obra, ou seja, não é diretamente o sistema de drenagem o responsável pela deterioração, mas o facto deste não cumprir a sua função, impossibilitando o correto encaminhamento da água.

5.3.4.6. Tabuleiro

As anomalias verificadas nos tabuleiros encontram-se praticamente sempre na face inferior dos mesmos, ou no seu interior, visto que na face superior existe o revestimento de via.

Verificou-se, de acordo com o que se apresenta na figura seguinte, que o trabalho de manutenção mais recomendado nas inspeções de rotina foi “limpeza de superfícies horizontais e verticais” (62%). Este trabalho resulta das anomalias já referidas para o componente “sistema de drenagem”, nomeadamente com a falta ou o insuficiente encaminhamento de água. Em seguida, aparece o trabalho de “reparação de betão em zonas localizadas” (25%) e “remoção de varões ou pregos de cofragem” (13%).

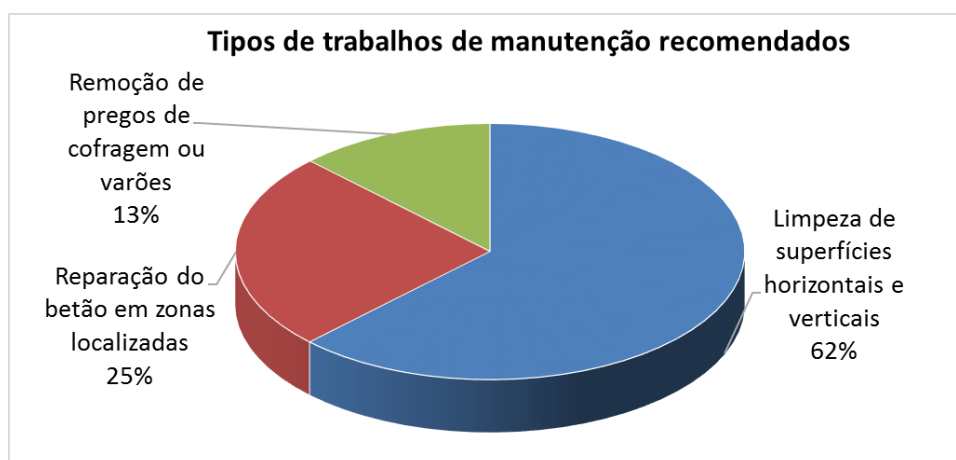


Figura 5-14 Tipos de trabalhos de manutenção atribuídos aos tabuleiros e sua distribuição relativa

Através da análise do gráfico da Figura 5-14, dos trabalhos atribuídos, verifica-se que as principais anomalias são:

- surgimento de manchas, escorrências ou eflorescências;
- descasques pontuais de betão;
- existência de pregos de cofragem ou varões;

As causas mais comuns para o aparecimento das anomalias detetadas na inspeção de rotina são:

- erros de execução (cofragem, betonagem e descofragem)
- drenagem insuficiente;
- retração do betão;
- passagem de água pelo bordo do tabuleiro, por falta de pingadeira;
- molhagem da face inferior do tabuleiro, por inexistência de mangas de queda;
- falta de manutenção.

Em relação aos trabalhos de reparação atribuídos nas inspeções principais, o trabalho de reparação com maior frequência foi “substituição ou colocação de pingadeira” com 57%. De resto, os trabalhos estão relacionados com a deterioração do betão, nomeadamente com a reparação do betão em profundidade.

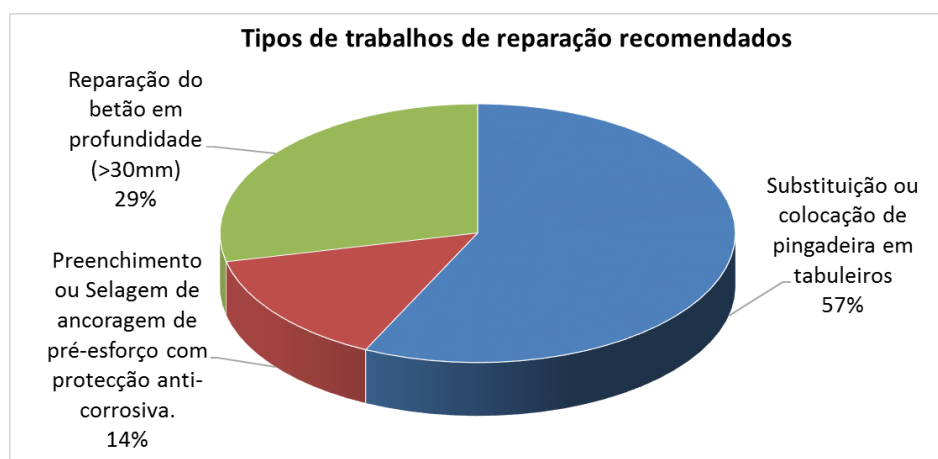


Figura 5-15 Tipos de trabalhos de reparação em tabuleiros e sua distribuição relativa

Através dos principais trabalhos de reparação recomendados, identificam-se as principais anomalias no tabuleiro:

- exposição de armaduras;
- danos nas ancoragens de pré-esforço;
- escorrências e eflorescências;
- fendilhação.

As causas associadas às anomalias detetadas são:

- erros de execução (cofragem, betonagem e descofragem)
- recobrimento insuficiente;
- retração do betão;
- drenagem insuficiente.

5.3.4.7. Aparelho de apoio

Nos aparelhos de apoio, o único trabalho de manutenção verificado é “limpeza e manutenção” do respetivo componente. Neste trabalho estão englobadas as seguintes tarefas: remoção de detritos; pinturas pontuais nos locais de corrosão; lubrificação das superfícies deslizantes. Este trabalho é efetuado sempre que houver acumulação de sedimentos e detritos no equipamento, ou existência de pontos de corrosão.

Em relação aos trabalhos de reparação atribuídos nas inspeções principais, o trabalho de reparação especificado com maior frequência é “pintura de superfícies metálicas”, para corrigir a corrosão dos blocos de neoprene e de todos os elementos metálicos. O trabalho de reparação é recomendado quando existe deterioração em algum elemento do respetivo componente. Em último caso é recomendado o trabalho “substituição do aparelho de apoio”. Este trabalho surge perante deformações e deslocamentos excessivos.

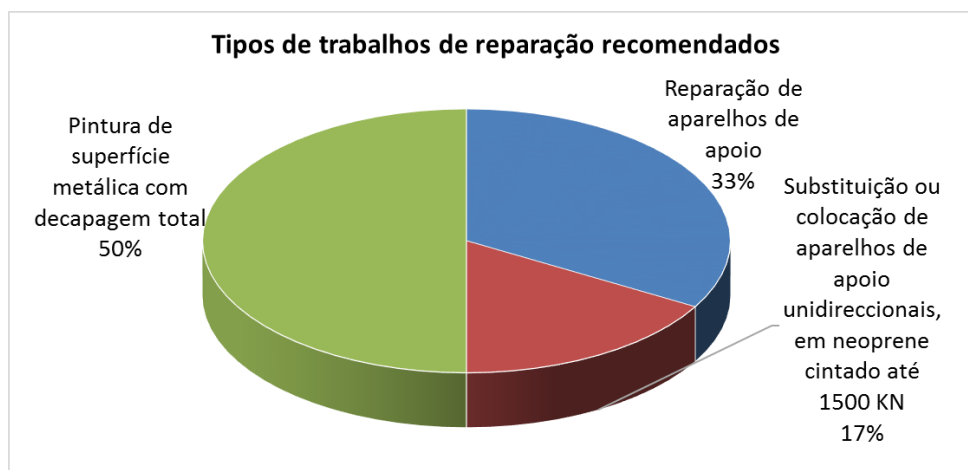


Figura 5-16 Tipos de trabalhos executados nos aparelhos de apoio

Através dos principais trabalhos de reparação recomendados, identificam-se as principais anomalias dos aparelhos de apoio:

- acumulação de sedimentos e detritos;
- corrosão de elementos metálicos;

- deslocamento ou deformação;
- fendilhação ou rotura por esmagamento do plinto;
- deterioração dos elementos.

As causas associadas às anomalias detetadas são:

- falta de manutenção;
- infiltrações;
- compressões excessivas.

Saliente-se a importância de uma correta recomendação dos trabalhos retificativos para os aparelhos de apoio, isto porque o funcionamento incorreto deste tipo de componente afeta o normal funcionamento dos restantes componente, podendo implicar anomalias com elevados custos de reparação. De tal forma que o custo correspondente às intervenções necessárias à sua substituição (elevação da estrutura, reparações das caixas, entre outros) é muito superior ao custo de um novo aparelho.

5.3.5. Análise combinada dos componentes

De forma a estudar os principais componentes constituídos pelo material betão armado, analisaram-se os trabalhos de reparação efetuados para os seguintes componentes:

- apoios intermédios;
- cornijas;
- encontros;
- guarda corpos (acrotério);
- guarda de segurança (lancil);
- muros;
- tabuleiro.

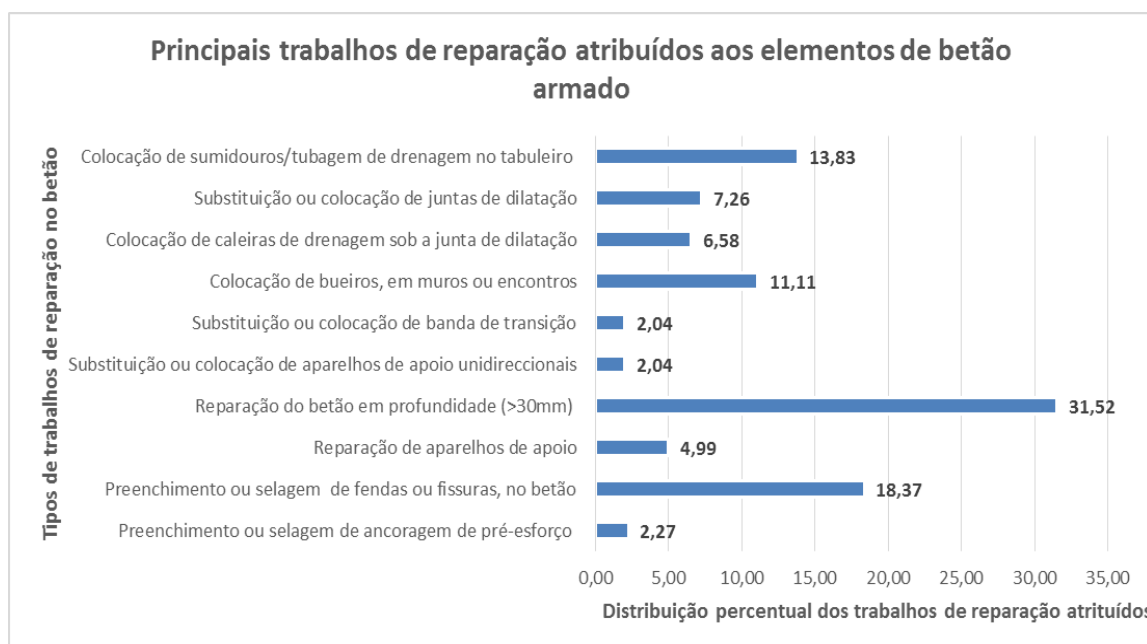


Figura 5-17 Principais trabalhos de reparação efetuados em elementos de betão armado

Feita a ordenação e análise dos dados, que permitiu descrever a ocorrência de trabalhos efetuados em todos os elementos de betão armado, verifica-se, através dos resultados apresentados na Figura 5-17, que o trabalho que teve maior incidência é “reparação do betão”, com cerca de 44%. Entende-se por reparação, trabalhos superficiais, por selagem de fendas e fissuras, e trabalhos em profundidade, com limpeza ou substituição das armaduras. A anomalia que ocorre com mais frequência nos componentes constituídos por betão é fendilhação ou descasque. A fendilhação apresentada ocorre sob diversas formas, isto é, várias aberturas e alinhamentos, devido às diferentes causas e níveis de gravidade, abordados anteriormente.

Como segundo trabalho de reparação mais recomendado, com 28%, surge a “colocação ou substituição de órgãos de drenagem”. Saliente-se que o trabalho atribuído resulta da insuficiente, ou inexistente, drenagem da água, permitindo a infiltração e escorrência de água no betão. É comum observar-se estes tipos de anomalias principalmente nas consolas dos tabuleiros, devido à inexistência de pingadeira e tubos de queda. Na presença de qualquer situação que não possibilite a drenagem da água, existe a necessidade de reparação nos componentes, de modo a corrigir ou impedir o processo de deterioração.

Refira-se que, no conjunto das 138 obras de arte analisadas, nenhuma apresentava anomalias que implicasse retirá-la de serviço, ou tão pouco que implicasse algum risco de colapso.

No anexo D encontra-se a elaboração de um guia destacando as anomalias mais frequentes na RAM, com descrição da anomalia respectiva, os componentes que podem ser afetados, as causas prováveis que podem dar origem as consequências da anomalia caso esta não seja retificada, bem como os trabalhos recomendados para a reparação das mesmas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. Conclusões gerais

A presente dissertação foi desenvolvida com base na consulta de diversos elementos bibliográficos de referência e na deslocação do autor aos escritórios da entidade responsável pelas inspeções às obras de arte das concessionárias VLT e VEP, a Betar, bem como da consulta de relatórios de inspeções das mesmas.

Dos conhecimentos adquiridos através da consulta bibliográfica, saliente-se a preocupação com a durabilidade das estruturas, esta característica deve estar presente desde a fase de projeto, sendo fundamental definir-se medidas preventivas com menores custos e maior eficácia para todo o ciclo de vida da estrutura. Na fase de projeto, a influência da durabilidade está diretamente relacionada com a escolha dos materiais e com a capacidade de garantir uma correta drenagem nas respetivas obras de arte, com a instalação de órgãos de drenagem, impermeabilizações e controlo de humidade. É necessário também ter a perceção da necessidade de realizar trabalhos de inspeção, manutenção e reparação nas obras de arte, de forma facilitar as inspeções periódicas, nomeadamente acesso aos componentes, substituição dos equipamentos degradados e reparação dos diversos elementos. As fases de execução e de serviço são também muito importantes pois podem ter origem defeitos promotores de perda da durabilidade projetada, a implementação de um sistema de monitorização permite controlar as propriedades mecânicas (e.g. resistência, fluência e retração) e as propriedades de durabilidade (e.g. profundidade de carbonatação e teor de cloretos).

Através da utilização pelo autor do GOA[®], constatou-se a importância da implementação de um sistema de gestão de obras de arte, referindo que a sua utilização é uma ótima forma dos donos de obra terem um visão global dos estados de manutenção e de conservação das suas pontes e viadutos, fazendo um atempado e correto planeamento das intervenções a realizar. O GOA[®] tem correspondido às necessidades dos utilizadores desse sistema de gestão, permitindo traçar estratégias de intervenção a curto prazo (trabalhos de manutenção) e a longo prazo (trabalhos de reparação), identificando as causas e

consequências das anomalias detetadas, e, em função dessa análise, programar e planejar as estratégias de intervenção tecnicamente e economicamente mais adequadas.

Uma das limitações das limitações analisadas no GOA[®] verificou-se na medida em que, a maioria das obras de arte analisadas apresentam um estado de manutenção “mau”, sendo este um resultado fortemente influenciado pela sensibilidade do sistema de avaliação, ou seja, o sistema não tem em consideração a importância do componente para a obra de arte, bastando haver um componente avaliado com “mau” estado de manutenção para ser atribuído à generalidade da obra de arte o estado de manutenção “mau”, não representando da melhor maneira o estado geral de manutenção de cada obra.

Procurou-se, através uma primeira análise mais geral, identificar as patologias mais frequentes numa amostra de 138 obras de arte da RAM, referindo as principais causas e os trabalhos de manutenção e reparação atribuídos.

Das obras de arte estudadas, constatou-se que o trabalho de manutenção com maior atribuição foi a limpeza das superfícies de betão e dos diversos elementos, de modo a retificar as principais anomalias identificadas nas inspeções de rotina (manchas, escorrências no betão e acumulação de água e/ou sedimentos). A drenagem insuficiente e a falta de manutenção são algumas das causas que podem ser responsáveis para o aparecimento das respetivas anomalias nas obras de arte da RAM.

A maioria das obras de arte na RAM, foram avaliadas com um estado de conservação “2”, sendo este um estado de conservação razoável, pois corresponde a defeitos com pouca importância para o comportamento e para a durabilidade das estruturas. Em relação aos trabalhos de reparação, na sua maioria, não se justificava uma intervenção prioritária, destacando-se o preenchimento ou selagem de fendas no betão, substituição de variados elementos e reparação do betão em profundidade. As anomalias que estão associadas à maioria dos trabalhos de reparação verificados devem-se essencialmente à fendilhação do betão e à deterioração dos equipamentos. As causas que originam a maior parte das anomalias detetadas nas inspeções principais das obras de arte, podem ser explicadas por erros de execução (cofragem, betonagem e descofragem), infiltração de água pelo bordo do tabuleiro por falta de pingadeira e aos principais fenómenos que originam a corrosão das armaduras, a carbonatação e o ataque de cloretos.

Numa segunda análise, estudou-se em particular uma amostra de 36 pontes e viadutos de betão armado da RAM, e identificou-se as patologias mais frequentes, as principais causas associadas e os trabalhos de manutenção e reparação recomendados para cada componente.

Os componentes que tiveram mais custos atribuídos foram o revestimento de vias e as juntas de dilatação. O custo para revestimento de via deve ser analisado de forma diferente dos restantes componentes, visto que o material que o constitui tem um período de vida inferior e a sua substituição está prevista periodicamente nos cadernos de encargos de cada obra concessionada. O resultado das juntas de dilatação pode ser explicado pelas anomalias verificadas no revestimento de vias, na medida em que foram necessários trabalhos de preenchimento/selagem na zona de remate entre as juntas de dilatação e o pavimento, de modo a corrigir a fissuração da camada de transição, impedindo que o material se solte e deixe descontinuidades entre o pavimento e a junta, situação prejudicial aos utilizadores porque pode causar danos nos rodados dos veículos. Os restantes componentes tiveram custos relativamente residuais.

Nos encontros das pontes analisadas, verificou-se que a limpeza de superfícies representou a maioria dos trabalhos de manutenção atribuídos. Estes trabalhos são particularmente relevantes porque a ação da água, quando mal encaminhada, provoca acumulação de água, manchas, escorrências e eflorescências nas superfícies de betão. As causas mais comuns para o aparecimento das anomalias são drenagem insuficiente ou ausência de órgãos de drenagem, e falta de estanquidade da junta de dilatação junto ao encontro, acumulando água sobre a mesa do encontro e escorrendo em seguida pelas suas paredes. Em relação aos trabalhos de reparação atribuídos às obras de arte da RAM, o preenchimento ou selagem por injeção de fendas ou fissuras no betão é o trabalho mais frequente, isto devido à identificação das patologias de fendilhação, descasque e exposição de armaduras, que podem ser explicadas por recobrimento insuficiente e principalmente, pela corrosão das armaduras.

No componente revestimento de via, verificou-se nestes casos que é essencialmente a sua degradação, através de buracos ou fendas no pavimento betuminoso, a principal anomalia detetada, sendo atribuído principalmente o trabalho de preenchimento ou selagem de fendas com betume. As causas mais comuns para o aparecimento desta anomalias pode ser o assentamento do terreno, provocando fissuração em malha e promovendo a infiltração

de água para a zona no tardo da obra de arte, ou a deterioração da camada de desgaste do betuminoso.

As juntas de dilatação sujeitas a trabalhos de manutenção resultaram de anomalias do tipo acumulação de sedimentos, ausência ou rotura de elementos de fixação, deterioração (fendilhação) da camada de transição e ausência/deterioração do material de preenchimento das juntas. A falta de manutenção e o desgaste dos elementos foram as principais causas para as anomalias referidas. Em relação aos trabalhos de reparação prescritos nas inspeções principais na RAM, o mais frequente foi a colocação de caleira de drenagem sob a junta de dilatação, este tipo de trabalho resulta da infiltração de água pelo interior da junta, causando anomalias anteriormente verificadas nos encontros, nomeadamente escorrências e eflorescências. As causas associadas às anomalias são a falta de estanquidade e/ou ausência de elementos de fixação.

Em relação ao componente sistema de drenagem, saliente-se que o trabalho reparação do betão em zonas localizadas resulta da insuficiente drenagem do sistema, permitindo a infiltração e escorrência de água no betão, havendo necessidade de reparação local. É de realçar que este componente é fundamental na manutenção e conservação de uma obra de arte, na medida em que a sua ausência ou funcionamento incorreto pode provocar muitas anomalias em quase todos os componentes da obra, ou seja, não é diretamente o sistema de drenagem o responsável pela deterioração, mas o facto de este não cumprir a sua função, impossibilitando o correto encaminhamento da água.

As anomalias verificadas nos tabuleiros encontram-se na face inferior dos mesmos, ou no seu interior (no caso de sistema estrutural transversal em caixão), visto que na face superior existe o revestimento de via, não sendo possível verificar a existência de patologias com o nível de inspeção utilizado. Essas anomalias estão relacionadas com a exposição de armaduras, escorrências, eflorescências e fendilhação, e podem ser causadas por erros de execução, recobrimento insuficiente ou drenagem deficiente. Em relação aos trabalhos de reparação atribuídos nas inspeções, a substituição ou colocação de pingadeira foi o trabalho com maior atribuição. O resto dos trabalhos verificados estão relacionados com a deterioração do betão, nomeadamente a reparação do betão.

Nos aparelhos de apoio, os trabalhos de manutenção foram recomendados quando verificou-se acumulação de sedimentos e detritos no equipamento, ou existência de pontos de corrosão. O trabalho de reparação foi atribuído quando ocorreu deterioração em algum elemento do respetivo componente, como por exemplo a existência de corrosão no respetivo

componente, devido à presença e ao contacto da água com as peças metálicas do componente. Nos casos verificados, foi recomendado a limpeza dos aparelhos de apoio, pintura das chapas de embasamento, reparação do plinto e reaperto das fixações. Em último caso é recomendado o trabalho substituição do aparelho de apoio, este trabalho surge perante deformações e deslocamentos excessivos não esperados.

A análise combinada dos componentes constituídos por betão mostrou que a anomalia que ocorre com mais frequência na RAM é fendilhação ou descasque, seguida de escorrências e infiltrações. Saliente-se que o trabalho atribuído “colocação ou substituição de órgãos de drenagem, resulta da insuficiente, ou inexistente, drenagem da água, permitindo infiltração e escorrência de água no betão, sendo comum observar-se este tipo de anomalias principalmente nas consolas dos tabuleiros, devido à inexistência de pingadeira e tubos de queda. A fendilhação detetada nas pontes e viadutos da RAM pode ser explicada pela corrosão das armaduras, sendo a proximidade das obras de arte ao ambiente marítimo uma das justificações para o surgimento desta patologia. Outra justificação centra-se na possibilidade de contaminação dos agregados por cloretos, pois é conhecida a aplicação de agregados (finos e grossos) extraídos do mar para a construção na RAM, tornando a situação problemática quando estes não são corretamente lavados, não removendo os sais presentes, resultando nas condições necessárias para a despassivação das armaduras.

6.2. Contribuições ao tema desenvolvido

Numa análise aos trabalhos de investigação dedicados às inspeções realizadas nas obras de arte em Portugal, podemos concluir que tem havido uma preocupação crescente em relação a este tema, devido à evolução, nas últimas décadas, do número de pontes e viadutos construídos, que agora têm custos de manutenção e reparação significativos.

A necessidade de encontrar formas e meios de inspeção mais adequados tem sido a grande preocupação. Note-se que não existe regulamentação para esse efeito. A regulamentação relevante associada ao tema é acerca da durabilidade nas estruturas de betão armado, através da norma NP EN 206-1:2007 e da especificação LNEC E 464:2007. Neste sentido, é fundamental dar a conhecer aos responsáveis pela gestão das obras de arte de procedimentos transversais, de modo que a avaliação de uma obra de arte seja efetuada de

forma uniforme e igual entre todos os profissionais envolvidos, independentemente do inspetor.

O presente estudo acrescenta ao tema das inspeções em pontes e viadutos de betão armado, e da sua reabilitação, a discussão acerca das principais patologias verificadas nas obras de arte da RAM, e os principais trabalhos de inspeção e monitorização que podem ser realizados de modo a avaliar o real estado das pontes e viadutos, indicando, se necessário, intervenções corretivas para assegurar a durabilidade das estruturas em questão.

O trabalho realizado permitiu desenvolver um guia com as principais patologias verificadas nas pontes e viadutos da RAM, referindo as causas e as consequências associadas, bem como os trabalhos de retificação recomendados para a cada situação.

6.3. Desenvolvimentos Futuros

Alguns pontos abordados neste trabalho podem servir de base para desenvolvimentos futuros. Considera-se relevante que futuros estudos foquem aspetos como:

- avaliação da correlação entre as patologias observadas nas obras de arte e fatores como a idade, tipo de estrutura e localização, procurando definir medidas que permitam uma mais eficiente programação das atividades das inspeções;
- desenvolvimento de novos sistemas de monitorização de estruturas, recorrendo a equipamentos inovadores ou ao desenvolvimento de novos sensores, mais económicos e de fácil aplicação;
- adaptação e aplicação de modelos de previsão de deterioração com base nos trabalhos realizados nas obras de arte e nas anomalias registadas na RAM, de modo a obter soluções com um maior rácio custo-benefício;
- avaliação dos benefícios da utilização de novas tecnologias não destrutivas para inspeção de obras de arte, nomeadamente a utilização de equipamento para aquisição de imagens 3D e térmicas (*e.g. Infrared Thermography, HD Vídeo, Deck Scanning*).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fonte eletrónica: *Via Expresso* (última vez consultada a 05 de 10 de 2014). Obtido de Concessionária de Estradas da Madeira S.A: <http://www.viaexpresso.com/>
- APEB. (Maio de 2008). A especificação do betão. *Guia para a utilização da norma NP EN 206-1*, pp. 1-20.
- Appleton, J. (1997). *Curso de durabilidade, reparação e reforço de estruturas*. Lisboa: IST PRESS.
- Betar. (2013). *Manual de Inspecões de Rotina*. Lisboa.
- Betar. (2013). *Manual de Inspecões Especiais*. Lisboa.
- Betar. (2013). *Manual de Inspecões Principais*. Lisboa.
- Betar. (2013). *Manual de Inventário*. Lisboa.
- Branco, F., & Brito, J. (2004). *Diagonóstico e patologia de construção em betão armado*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- CEB. (1992). *Bulletin d'information- Assessment of concrete structures and design procedures for up-grading*. Prague: Comité Euro-international du beton.
- CEN. (2002). *Bases para o projeto de estruturas*. Bruxelas: Eurocódigo 0.
- CEN. (2004). *Design of Steel Structures, Part 2 (Bridges)*. Brussels: EN 1993-2.
- Cóias, V. (2006). *Inspeção e Ensaio na Reabilitação de Edifícios*. Lisboa: IST PRESS.
- Costa, A. (2008). *Patologia do betão armado- Anomalias e mecanismos de deterioração*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- Costa, V. M. (2009). *Desempenho e Reabilitação de Pontes Rodoviárias: Aplicação a Casos de Estudo*. Universidade do Minho- Dissertação de Mestrado.
- Coutinho, M. S. (1998). *Melhoria da durabilidade dos betões por tratamento de cofragem- dissertação para obtenção de doutoramento*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cruz, P. (2006). Linhas orientadoras de uma política de manutenção, conservação e inspeção de pontes. Em *4ª Jornada de Engenharia de Estruturas*. JPEE 2006.
-

- DNIT. (2010). *Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários*. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestruturas e Transporte.
- Eloi, F., Moldovan, I., & Marques, M. B. (2013). *Condition Assessment of Bridges: Past Present and Futures*. Lisboa: Universidade Católica Editora.
- Ferreira, R. M. (2011). Caracterização do betão da Ponte Luiz Bandeira em Sejães. 2º Congresso Nacional sobre segurança e Conservação de Pontes, (pp. 515-522).
- Guerra, J. (2010). Funchal: breve cronologia., (pp. 1419-1976). Funchal.
- INE. (2 de Dezembro de 2014). Desenvolvimento da rede ferroviária em Portugal. Lisboa, Lisboa, Portugal.
- INE. (2 de Dezembro de 2014). Desenvolvimento da rede rodoviária em Portugal. Lisboa, Portugal.
- IPQ. (1993). Betão: Comportamento, produção e critérios de conformidade. *Instituto Português de Qualidade*, pp. 1-21.
- LNEC. (1993). Betões. Guia para a utilização de ligantes. E-378.
- Lourenço, L., & Mendes, L. (2009). Parâmetros de avaliação de patologias em obras de arte especiais., (p. 5). Lisboa.
- Lúcio, V. (2008). *Apontamentos da Cadeira de Reforço e Reparação de Estruturas-Durabilidade*. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Maré, F. L. (2011). *História das Infra-Estruturas Rodoviárias*. Porto: FEUP-Dissertação para o grau de Mestre em Eng. Civil- Vias de Comunicação.
- Mills, R. (1987). *Mass transfer of gas and water through concrete*. Detroit: ACI SP-100.
- Pedro, J. O. (2007). *Pontes*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- REBAP. (30 de Julho de 1983). "Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado". *Diário da República*, pp. 101-162.
- Reis, A. J. (2002). Folhas da disciplina de pontes. Departamento de Engenharia Civil e Ambiente: Instituto Superior Técnico.
- Ryall, M. J. (2000). *Manual of Bridge Engineering*. London.
- Salta, M. (2013). Estruturas de Betão-Factores e requisitos de durabilidade. *Seminário-Manutenção e reparação de estruturas*. Lisboa: LNEC.
- Sampaio, J. C. (1999). *Parâmetros a considerar na durabilidade dos betões*. Porto: Apontamentos de Mertrado-FEUP.

Silva, F. A. (1998). *O arquipélago da Madeira na Legislação Portuguesa*. Funchal.

Silva, P. (2005). *As ferramentas E-learning no ensino de pontes*. Universidade do Minho: Tese de Mestrado.

Torgal, F. P., & Jalali, S. (Maio de 2008). A durabilidade do betão de acordo com a norma NP EN 206-1:2007. *Revista da Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto*, pp. 45-52.





Trindon, M. (2009). *Techniques de construction- Cycle Inspection des Ouvrages D'Art*. Champs-sur-Marne: École Nationale des Ponts et Chaussées.

ANEXOS

CP PONTES		FICHA DE CADASTRO		
LINHA :	INTERNACIONAL DE VALENÇA KMº 14			
RAMAL :				
NOME :	Técnica. cobre. Lamin. de Espalho			
	REVISÃO FEITA EM :	14/09/89		
	POR :	A. B. P.		
TRAVESSAS	RECTANGULARES <input type="checkbox"/>	ALTURA	10	
	TRAPEZOIDAIS <input type="checkbox"/>	LARGURA	28	
	BETÃO <input type="checkbox"/>	AFASTADAS DE	5	
	CARRIL :	MATERIAL DE : Aço		
JUNTAS POR SOLDAR NA PONTE		SIM <input type="checkbox"/>	QUANTIDADE :	
		NÃO <input checked="" type="checkbox"/>		
AFROUXAMENTO DE 10 KM/H		NÃO TEM AFROUXAMENTO <input type="checkbox"/>		
VELOCIDADE DA VIA :		À ENTRADA 10 KM/H (ANTES)	À SAÍDA 10 KM/H (DEPOIS)	
APARELHOS DE DILATAÇÃO DE VIA		À ENTRADA (ANTES)	UNIDIR. <input type="checkbox"/>	
			BIDIR. <input type="checkbox"/>	
		À SAÍDA (DEPOIS)	UNIDIR. <input type="checkbox"/>	
			BIDIR. <input type="checkbox"/>	
TIPO DE VIA :		À ENTRADA (ANTES)	À SAÍDA (DEPOIS)	
BARRA LONGA <input checked="" type="checkbox"/>		BARRA LONGA <input checked="" type="checkbox"/>		
JUNTAS <input type="checkbox"/>		JUNTAS <input type="checkbox"/>		
DATA DA PINTURA	GERAL <input type="checkbox"/>	NÃO TEM DATA DA PINTURA.....		
	PARCIAL <input type="checkbox"/>	(Inscrição na ponte)		
ESTADO DA PINTURA	BOA <input type="checkbox"/>	OBS:		
	REGULAR <input checked="" type="checkbox"/>		
	MÁ <input type="checkbox"/>		
CANALIZAÇÕES	ÁGUA <input type="checkbox"/>	ELECTRICIDADE	P <input type="checkbox"/> C <input checked="" type="checkbox"/>	
	TELEFONES	P <input type="checkbox"/> C <input checked="" type="checkbox"/>	SINAIS	P <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
	CATENARIA <input type="checkbox"/>	OUTRAS <input type="checkbox"/>	C-CONDUTAS OU CABOS	
			P-POSTES	
ORDEN DOS APARELHOS DE APOIO: TODOS MOVEIS				
MÓVEIS	ROLOS <input type="checkbox"/>	COM RÓTULA <input type="checkbox"/>	DESGLIZANTES <input checked="" type="checkbox"/>	
	PÊNDOLOS <input type="checkbox"/>	SEM RÓTULA <input type="checkbox"/>	NEOPRENE <input type="checkbox"/>	
FIXOS	COM RÓTULA <input type="checkbox"/>	PLACAS <input type="checkbox"/>	PLATINAS ENTRE O BANZO E O APOIO	
	SEM RÓTULA <input type="checkbox"/>	NEOPRENE <input type="checkbox"/>	CALÇOS SOBRE O APOIO (DESCREVER)	
TEM ACESSO POR ESTRADA	SIM <input checked="" type="checkbox"/>	TERRENO PARA ESTALEIRO		
	NÃO <input type="checkbox"/>	SIM <input checked="" type="checkbox"/>		
		NÃO <input type="checkbox"/>		
TEM P.N. PRÓXIMA	SIM <input checked="" type="checkbox"/>	KMº	NOME DA ESTACÃO OU APEADEIRO MAIS PRÓXIMO	
	NÃO <input type="checkbox"/>		Valença. du. Trvx. KMº	

CP's registration records dated from 1989

ANEXO C

- OA 1**  **Designação:** Ponte sobre a Ribeira Brava
Matrícula: VE3.001+320.PO.3.0#0.0
Tipo de estrutura: simples/ apoiado
Nº de vãos: 1 (contínuo)
Largura: 11 m
Comprimento: 22,2 m (vão máximo)
- OA 2**  **Designação:** Ponte no Rosário
Matrícula: VE4.010+870.PO.4.0#0.0
Tipo de estrutura: simples/ apoiado
Nº de vãos: 1 (contínuo)
Largura: 11,0 m
Comprimento: 28,63 m (vão máximo)
- OA 3**  **Designação:** Ponte no Rosário 2
Matrícula: VE4.013+270.PO.9.0#0.0
Tipo de estrutura: simples/ apoiado
Nº de vãos: 1 (contínuo)
Largura: 11,7 m
Comprimento: 17,33 m (vão máximo)
- OA 4**  **Designação:** Ponte no Seixal (rib. da Janela)
Matrícula: VE2.006+120.PO.9.0#2.0
Tipo de estrutura: simples/ apoiado
Nº de vãos: 1 (contínuo)
Largura: 9,5 m
Comprimento: 21,1 m
- OA 5**  **Designação:** Ponte sobre rib. da Ponta do Sol
Matrícula: VE3.005+350.PO.10.0#0.0
Tipo de estrutura: Pórtico
Nº de vãos: 1 (contínuo)
Largura: 10,55 m
Comprimento: 15,5 m
- OA 6**  **Designação:** Ponte sobre ribeira da Janela
Matrícula: VE2.012+900.PO.13.0#0.0
Tipo de estrutura: Pórtico
Nº de vãos: 1 (contínuo)
Largura: 10,9 m
Comprimento: 49,75 m

OA 7



Designação: Ponte no arco da Calheta
Matrícula: VE3.011+750.PO.14.0#0.0
Tipo de estrutura: Vãos múltiplos
Nº de vãos: 3 (contínuo)
Largura: 11,6 m
Comprimento: 53,75 m (vão máx=21,75 m)

OA 8



Designação: Ponte da Atougua
Matrícula: VE3.013+200.PO.16.0#0.0
Tipo de estrutura: vãos múltiplos
Nº de vãos: 2 (contínuo)
Largura: 11,0 m
Comprimento: 44,5 m (vão máx=22,25 m)

OA 9



Designação: Ponte sobre a rib. de São Vicente
Matrícula: VE4.016+300.PO.18.0#0.0
Tipo de estrutura: simples/ apoiado
Nº de vãos: 1 (contínuo)
Largura: 11,5 m
Comprimento: 36,0 m (vão máximo)

OA 10



Designação: Ponte sobre os Túneis da Calheta
Matrícula: VE3.015+100.PO.19.0#0.0
Tipo de estrutura: vãos múltiplos
Nº de vãos: 3 (contínuos)
Largura: 10,41 m
Comprimento: 67,6 m (vão máx=43,6 m)

OA 11



Designação: Ponte da Velha
Matrícula: VE3.021+190.PO.33.0#0.0
Tipo de estrutura: vãos múltiplos
Nº de vãos: 3 (contínuo)
Largura: 17,5 m
Comprimento: 33,7 m (vão máximo)

OA 12










Designação: Ponte do Paúl
Matrícula: VE3.021+470.PO.35.0#0.0
Tipo de estrutura: vãos múltiplos
Nº de vãos: 3 (contínuos)
Largura: 15,0 m
Comprimento: 170 m (vão máx=75,0 m)

OA 13



Designação: Ponte entre Calheta e Prazeres
Matrícula: VE3.016+350.PO.22.0#0.0
Tipo de estrutura: vãos múltiplos
Nº de vãos: 3 (contínuos)
Largura: 11,8 m
Comprimento: 89,8 m (vão máx=35,0 m)

OA 14		<p>Designação: Ponte da Ribeira Funda Matrícula: VE3.018+030.PO.26.0#0.0 Tipo de estrutura: vãos múltiplos N° de vãos: 3 Largura: 14,0 m Comprimento: 279,5 m (vão máx=135,0 m)</p>
OA 15		<p>Designação: Ponte do Coelho Matrícula: VE3.021+810.PO.36.0#0.0 Tipo de estrutura: vãos múltiplos (3) Largura: 15,0 m Comprimento: 87,0 m (vão máx=35,0 m)</p>
OA 16		<p>Designação: Ponte sobre a Ribeira do Inferno Matrícula: VE2.001+940.PO.2.0#0.0 Tipo de estrutura: vão múltiplos N° de vãos: 3 (contínuos) Largura: 9,5 m Comprimento: 35,38 m (vão máx=14,41 m)</p>
OA 17		<p>Designação: Ponte em Santana Matrícula: VE1.017+980.PO.29.0#0.0 Tipo de estrutura: vão múltiplos N° de vãos: 2 Largura: 10,3 m Comprimento: 46,7 m (vão máx= 24,5 m)</p>
OA 18		<p>Designação: Ponte da Maloeira Matrícula: VE3.022+100.PO.37.0#0.0 Tipo de estrutura: vãos múltiplos N° de vãos: 5 (contínuos) Largura: 25,0 m Comprimento: 181,0 m (vão máx=40,5 m)</p>
OA 19		<p>Designação: Ponte da Cova Matrícula: VE3.022+520.PO.39.0#0.0 Tipo de estrutura: vãos múltiplos N° de vãos: 3 (contínuos) Largura: 25,0 m Comprimento: 179,0 m (vão máx=75,0 m)</p>
OA 20		<p>Designação: Ponte da Quinta Matrícula: VE1.000+580.PO.1.0#8.0 Tipo de estrutura: vãos múltiplos N° de vãos: 2 (contínuos) Largura: 12,2 m Comprimento: 42,0 m (vão máx=27,5 m)</p>

OA 21



Designação: Ponte do Faial
Matrícula: VE1.010+600.PO.19.0#0.0
Tipo de estrutura: vãos múltiplos
Nº de vãos: 5 (contínuos)
Largura: 14,0 m
Comprimento: 171,6 m (vão máx=42,3 m)

OA 22



Designação: Ponte sobre Rocha do Navio 1
Matrícula: VE1.014+450.PO.21.0#0.0
Tipo de estrutura: vão múltiplos
Nº de vãos: 3 (contínuos)
Largura: 11,3 m
Comprimento: 47 m (vão máx=20,0 m)

OA 23



Designação: Ponte sobre a Rocha do Navio 2
Matrícula: VE1.014+450.PO.21.0#1.0
Tipo de estrutura: vão múltiplos (4)
Largura: 7,67 m
Comprimento: 65,4 m (vão máx=19,2 m)

OA 24



Designação: Ponte sobre a Rocha do Navio 3
Matrícula: VE1.014+400.PO.21.0#2.0
Tipo de estrutura: vãos múltiplos
Nº de vãos: 3 (contínuos)
Largura: 7,75 m
Comprimento: 48,0 m (vão máx= 20,0 m)

OA 25



Designação: Ponte no Porto da Cruz
Matrícula: VE1.002+650.PO.5.0#0.0
Tipo de estrutura: vão múltiplos
Nº de vãos: 3 (contínuos)
Largura: 15,35 m
Comprimento: 49,25 m (vão máx=25,75 m)

OA 26



Designação: Ponte no Porto da Cruz 2
Matrícula: VE1.002+750.PO.6.0#0.0
Tipo de estrutura: vãos múltiplos
Nº de vãos: 2 (contínuos)
Largura: 12,0 m
Comprimento: 40,0 m (vão máx=20,0 m)

OA 27



Designação: Ponte no Porto da Cruz 3
Matrícula: VE1.005+330.PO.8.0#0.0
Tipo de estrutura: vãos múltiplos
Nº de vãos: 3 (contínuos)
Largura: 14,8 m
Comprimento: 115,95 m (vão máx=52,55 m)

OA 28		<p>Designação: Ponte no Porto da Cruz 4 Matrícula: VE1.006+270.PO.11.0#0.0 Tipo de estrutura: vão múltiplos N° de vãos: 3 (contínuos) Largura: 11,5 m Comprimento: 58,31 m (vão máx=23,7 m)</p>
OA 29		<p>Designação: Ponte no Porto da Cruz 5 Matrícula: VE1.002+320.PO.4.0#0.0 Tipo de estrutura: vãos múltiplos (3) N° de vãos: 3 Largura: 14,0 m Comprimento: 44,3 m (vão máx=24,8 m)</p>
OA 30		<p>Designação: Ponte de Moínhos Matrícula: VE1.009+980.PO.18.0#0.0 Tipo de estrutura: vãos múltiplos N° de vãos: 5 Largura: 10 m Comprimento: 78 m (vão máx=16,5 m)</p>
OA 31		<p>Designação: Viaduto no Faial Matrícula: VE1.006+750.VU.13.0#0.0 Tipo de estrutura: vão múltiplos (4) Largura: 16,45 m Comprimento: 116,78 m (vão máx= 33,55 m)</p>
OA 32		<p>Designação: Viaduto ramo de saída para Eiras Matrícula: VE5.001+650.VU.7.0#0.0 Tipo de estrutura: vãos múltiplos N° de vãos: 5 (contínuos) Largura: 16,5 m Comprimento: 150,9 m (vão máx= 34,3 m)</p>
OA 33		<p>Designação: Viaduto antes do Túnel de Cales Matrícula: VE1.001+120.VU.2.0#1.0 Tipo de estrutura: vãos múltiplos N° de vãos: 7 (contínuos) Largura: 11,9 m Comprimento: 163,1 m (vão máx= 23,3 m)</p>
OA 34		<p>Designação: Viaduto no Ramo de Saída Matrícula: VE2.006+100.VU.8.0#1.0 Tipo de estrutura: vãos múltiplos N° de vãos: 6 (contínuos) Largura: 11,58 m Comprimento: 71,55 m (vão máx= 17,1 m)</p>

OA 35



Designação: Viaduto na Cancela
Matrícula: VE5.003+450.VU.11.0#0.0
Tipo de estrutura: vãos múltiplos
Nº de vãos: 4 (contínuos)
Largura: 13,75 m
Comprimento: 135,9 m (vão máx= 38 m)

OA 36



Designação: Viaduto na Cancela 2
Matrícula: VE5.003+680.VU.12.0#0.0
Tipo de estrutura: vãos múltiplos
Nº de vãos: 4 (contínuos)
Largura: 13,46 m
Comprimento: 137,9 m (vão máx= 39,4 m)

ANEXO D

GUIA DE ANOMALIAS

ANOMALIA

Vazios ou zonas ocas no betão

COMPONENTES

Muros; encontros; apoios intermédios; tabuleiro; cornijas; guarda-corpos (acrotérios).

ILUSTRAÇÃO



DESCRIÇÃO

Anomalia no betão caracterizada pela existência de zonas ocas, à superfície ou no seu interior. O betão apresenta uma superfície não homogénea, sendo visíveis agregados de maior dimensão com vazios entre si e facilmente removíveis.

CAUSAS

Deficiente execução do betão, com granulometria inadequada dos agregados, ou má aplicação em obra, com vibração insuficiente e segregação.

CONSEQUÊNCIAS

Diminui a resistência do betão, facilitando a fixação e penetração de agentes agressivos, favorecendo a sua deterioração. A exposição das armaduras e posterior corrosão é outra consequência desta patologia.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Reparação do betão superficial (< 30 mm) removendo o betão degradado e aplicando argamassa não retrátil ou betão projetado.

Reparação do betão em profundidade (> 30 mm) removendo o betão degradado, limpando as armaduras e aplicando argamassa não retrátil ou betão projetado.

Reparação do betão em profundidade (> 30 mm) removendo o betão degradado, substituindo ou reforçando as armaduras, aplicando argamassa não retrátil ou betão projetado ou betão moldado *in situ*.

ANOMALIA**Corrosão das armaduras principais****COMPONENTES**

Muros de ala; apoios intermédios; tabuleiro; cornijas; guarda-corpos (acrotérios); guardas de segurança (lancis).

ILUSTRAÇÃO**DESCRIÇÃO**

Trata-se de uma patologia no aço, à qual estão associados danos no betão. Este dano caracteriza-se pela exposição da armadura principal. Encontra-se nos casos em que a armadura é visível, podendo estar completamente exposta ou ainda só ter aflorado.

CAUSAS

A corrosão das armaduras é causada pelo contato com o ar e facilitada pela presença de água. As causas que levam principalmente à despassivação das armaduras são a carbonatação e a penetração de cloretos, pois estes têm a capacidade de romperem a camada de óxido que protege as armaduras, despassivando-a e dando início à sua corrosão.

CONSEQUÊNCIAS

Quando a corrosão ultrapassa a camada superficial da armadura, existe uma redução da sua seção, traduzindo numa perda da capacidade resistente dos elementos estruturais, conduzindo em última instância à rotura.

Quando as armaduras expostas estão tensionadas, pode ocorrer uma fragilização acentuada destas, devido à perda de seção (corrosão sob tensão). Como consequência deste fenómeno pode dar-se a rotura frágil das armaduras, o que, em casos mais graves e generalizados, pode inclusive levar ao colapso das estruturas.

Devido aos produtos expansivos da corrosão das armaduras, ocorre destacamento da camada de betão de recobrimento. Uma vez verificado este fenómeno, as armaduras ficam ainda mais expostas, gerando um aumento da velocidade de corrosão.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Reparação do betão em profundidade (>30 mm) removendo o betão degradado, limpando as armaduras e aplicando argamassa não retráctil ou betão projetado.

Reparação do betão em profundidade (> 30 mm) removendo o betão degradado, substituindo ou reforçando as armaduras, aplicando argamassa não retráctil ou betão projetado ou betão moldado *in situ*. Saliente-se que a substituição dos varões deve ser efetuada quando a redução da seção transversal destes, é relevante.

ANOMALIA

Corrosão das armaduras construtivas

COMPONENTES

Muros de ala; encontros; apoios intermédios; tabuleiro; guarda-corpos (acrotérios).

ILUSTRAÇÃO



DESCRIÇÃO

Existência de varões construtivos (ex.: esticadores de cofragem) incorporados no elemento de betão, mas que apresentam uma parte muito próxima, ou mesmo exterior, à superfície do betão. Podem ser encontrados dobrados e apresentar corrosão.

Considera-se que existe exposição de armaduras sempre que estas armaduras são visíveis, independentemente do seu comprimento.

CAUSAS

Deve-se à falta de cuidado durante a execução da obra de arte, não tendo, os varões, sido devidamente cortados e tapados os furos com material protetor.

A corrosão deve-se ao facto de estarem expostos sob a ação de agentes que favorecem o seu desenvolvimento.

CONSEQUÊNCIAS

A existência destes varões não implica degradação para a estrutura. Porém, devido à exposição a que estão sujeitos, na grande maioria dos casos apresentam corrosão, o que poderá originar o descasque do betão em redor.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Remoção de pregos de cofragem ou varões;

Preenchimento ou selagem dos furos dos esticadores da cofragem sem esticadores.

Reparação do betão superficial (< 30 mm) removendo o betão degradado e aplicando argamassa não retrátil ou betão projetado.

ANOMALIA**Fendilhação****COMPONENTES**

Muros de ala; encontros; apoios intermédios; tabuleiro; guarda-corpos (acrotérios); passeios.

ILUSTRAÇÃO**DESCRIÇÃO**

Caracteriza-se pela existência de fendas que podem ter espessuras, comprimentos e profundidades variadas, bem como diferentes orientações (vertical, horizontal, oblíqua). Podem aparecer isoladas ou com afastamentos regulares.

Em tabuleiros vigados, as fissuras podem ter início na ligação das vigas/nervuras com as consolas, prolongando-se depois pela face inferior do tabuleiro.

CAUSAS

Estas patologias podem estar associadas à qualidade do betão ou à má execução.

No caso de aparecerem isoladas, com grande abertura, que pode ser variável ao longo da sua extensão, devem estar relacionados com assentamentos das fundações. Se tiverem espaçamentos regulares e pequena espessura, é provável que sejam devidas a fenómenos de retração do betão.

No caso das vigas, caso sejam o prolongamento de fendas existentes na face inferior do elemento, devem ter origem estrutural, por flexão, devidas a solicitações superiores às previstas ou à carência de armadura. Nas faces laterais podem ter origem estrutural, por falta de resistência ao esforço transversal.

Quando resultam da propagação de fendas diagonais vindas da zona dos apoios serão devidas à transmissão da compressão gerada pelo pré-esforço.

Nas obras com viés ou em curva, esforços de torção não considerados no projeto também podem contribuir para o aparecimento de fissuras oblíquas, juntos dos encontros.

CONSEQUÊNCIAS

Em ambientes húmidos, as fissuras poderão permitir o acesso de agentes agressivos às armaduras.

Caso as fissuras sejam acompanhadas de eflorescências (depósitos de materiais transportados pela água) deve-se procurar perceber a origem da água que se infiltra no betão, pois a sua presença potencia a corrosão das armaduras do tabuleiro.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Antes de qualquer intervenção, deve-se avaliar quais as implicações que as fissuras observadas, ou os fenómenos que as originaram, podem ter na segurança estrutural. Deve-se seguir a sua evolução (monitorização), em função das condições de exposição ambiental, controlando a abertura das fissuras observadas. Em função do desenvolvimento da fissura deve ser realizado um estudo complementar para determinar a intervenção mais adequada, que poderá passar por: preenchimento ou selagem por injeção, de fissuras no betão; pintura da superfície de betão, substituição ou reforço de armaduras, entre outros trabalhos.

ANOMALIA

Corrosão no aparelho de apoio

COMPONENTES

Aparelhos de apoio.

ILUSTRAÇÃO



DESCRIÇÃO

Manchas acastanhadas formadas por produtos de corrosão, em locais húmidos ou nos encontros sujeitos a escorrência de água proveniente de juntas de dilatação, o contato da água com as peças metálicas irá desencadear o processo de corrosão. Os pontos preferenciais onde a corrosão tem início são as superfícies de contato entre peças diferentes, pois são pontos onde a humidade penetra mais facilmente.

CAUSAS

Quando a pintura não tem boas características anti-corrosivas, a corrosão terá lugar sempre que estejam criadas condições de contato entre a água e oxigénio e o aço. Também o atrito gerado pelo movimento entre as peças provoca o descasque da pintura e/ou da galvanização, deixando assim a superfície do aço mais exposta e vulnerável à corrosão. A corrosão dos aparelhos de apoio é também favorecida pela falta de limpeza, pois a sujidade propicia a acumulação de humidade.

CONSEQUÊNCIAS

Nos casos mais avançada, pode haver delaminação do aço, resultando na perda progressiva de material. No caso de rolos metálicos, estes podem ficar ovalizados, devido à compressão a que estão sujeitos não ser igual em todo o perímetro do rolo, pelo que a perda de material é mais acentuada nas zonas onde há maior atrito. Nos aparelhos construídos por chapa de inox + teflon sobre blocos de neoprene, os produtos de corrosão do aço podem provocar o empolamento entre a chapa de embasamento superior e a chapa de inox, com conseqüente aumento do coeficiente de atrito ao deslizamento entre as duas superfícies.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Limpeza dos aparelhos de apoio e lubrificação das partes móveis.
Reparação do plinto de assentamento do aparelho de apoio.
Pintura das chapas de embasamento dos aparelhos de apoio.
Reaperto das fixações dos aparelhos de apoio.
Substituição do componente.

ANOMALIA**Acumulação de sujidade em aparelhos de apoio****COMPONENTES**

Aparelho de apoio.

ILUSTRAÇÃO**DESCRIÇÃO**

Acumulação de sedimentos e/ou detritos arrastados ou sobrantes da construção, que se depositam em redor ou sobre os aparelhos de apoio.

A acumulação de sujidade favorece a criação de humidade sobre as peças metálicas, a qual por sua vez irá criar um ambiente favorável ao desencadear do processo de corrosão. Outro aspeto a salientar é a acumulação de detritos nas peças móveis dos aparelhos de apoio, casos mais graves, pode inclusivamente provocar a obstrução do aparelho.

CAUSAS

Principalmente falta de limpeza durante e após a construção da obra. No período de vida útil da obra é necessário garantir uma manutenção periódica que evite a acumulação de sedimentos sobre os encontros e em redor dos aparelhos de apoio. Assim, a falta de limpeza dos aparelhos de apoio, falta de limpeza das mesas de apoio dos encontros, e o arrastamento de detritos transportados pela água que se escorre para o interior dos encontros, são as principais causas deste problema.

CONSEQUÊNCIAS

Perda progressiva da capacidade do componente absorver os deslocamentos impostos pela estrutura.

Acumulação de água e conseqüente corrosão do equipamento.

Nos casos mais graves, a acumulação de sedimentos associados à falta de lubrificação, pode inclusivamente provocar o bloqueamento do aparelho de apoio.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Limpeza dos aparelhos de apoio.

Lubrificação das partes móveis.

Reparação do plinto de assentamento do aparelho de apoio.

Pintura das chapas de embasamento dos aparelhos de apoio.

Reaperto das fixações dos aparelhos de apoio.

ANOMALIA

Descasque da pintura em guarda-corpos metálicos

COMPONENTES

Guarda-corpos.

ILUSTRAÇÃO



DESCRIÇÃO

Desgaste ou destaque da superfície metálica do componente, pontual ou generalizado. Em guarda-corpos metálicos, pode ser visível corrosão do aço, apresentando na sua superfície uma cor de óxido.

CAUSAS

A má qualidade do esquema de pintura aplicado, preparação deficiente da superfície, ausência de primário ou insuficiente espessura da pintura, contribui para o seu descasque. Exposição do componente em ambientes particularmente agressivos, favorece a deterioração da pintura, desprotegendo os elementos metálicos que ficam sujeitos à corrosão. Embate acidental de algum objeto contendente no componente.

PREVISÃO E CONSEQUÊNCIAS

A corrosão inicia-se normalmente nas zonas de ligação entre perfis, generalizando gradualmente até atingir zonas mais extensas, a corrosão ao alastrar, vai provocar o descasque da pintura. Caso não haja intervenção corretiva, a corrosão irá provocar a redução do aço em camadas cada vez mais profundas, podendo vir a resultar na delaminação do aço, com significativa perda de seção nos perfis atingidos.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Pintura de superfície metálica em guarda-corpos, incluindo preparação de superfície.
Pintura de superfície metálica com corrosão pontual, ou seja, em zonas localizadas.

ANOMALIA**Deformação em guarda-corpos metálicos****COMPONENTES**

Guarda-corpos.

ILUSTRAÇÃO**DESCRIÇÃO**

Existência de deformações localizadas nos elementos que constituem os guarda-corpos, estendendo-se também às fixações. Muitas vezes os elementos em que os guarda-corpos estão fixados (tabuleiro ou cornijas) também ficam danificados em resultado de embates.

CAUSAS

Principalmente sobretudo a embates de veículos resultantes de acidentes rodoviários em que tenha ocorrido o galgamento dos guarda-corpos ou lancis dos passeios.

CONSEQUÊNCIAS

Após a ocorrência de embates, o guarda-corpos perde grande da resistência ao choque na zona atingida. A quebra do betão em torno das fixações, também vai favorecer a corrosão dos penos de fixação e das armaduras de amarração, a qual vai provocar uma redução gradual do aço por oxidação, tornando a fixação menos resistente. Deve proceder-se à substituição dos elementos deformados e à reparação das fixações danificadas.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Reparação de guarda-corpos metálico.
Substituição ou colocação de guarda-corpos metálicos.

ANOMALIA

Deformação em guardas de segurança

COMPONENTES

Guarda de segurança.

ILUSTRAÇÃO



DESCRIÇÃO

Existência de danos no componente provocado por embates de veículos. As deformações ocorrem simultaneamente nos prumos verticais e nos perfis horizontais. A deformação é perceptível na observação do perfil ao longo do comprimento da obra, ou seja, olhando ao longo do passeio a partir de um encontro.

CAUSAS

Embates acidentais de veículos.

As obras de arte que se inserem em traçados ou curvas mais perigosas devem ser dotadas de guardas de segurança reforçadas, ou perfis “New-Jersey”, que possibilite trabalhos de substituição mais rápidos.

CONSEQUÊNCIAS

Após o embate, a guarda de segurança perde grande parte da resistência. A deformação dos prumos verticais implica, na sua maior parte, a rotura dos elementos de fixação.

É fundamental no decurso das inspeções de rotina, que sejam assinaladas e registadas as zonas deformadas das guardas de segurança.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Reparação da fixação da guarda de segurança.

Reparação de maciços de amarração de guardas de segurança.

Substituição ou colocação de guarda de segurança metálica.

Substituição ou colocação de prumo de guarda metálica.

Substituição ou colocação de perfil de segurança metálica.

ANOMALIA**Descasque do betão em amarrações de guardas de segurança****COMPONENTES**

Guardas de segurança.

ILUSTRAÇÃO**DESCRIÇÃO**

Quebra ou fissuração do betão em torno das amarrações das guardas de segurança. Esta situação pode surgir isoladamente, ou ser acompanhada da deformação da guarda de segurança provocada por embates de veículos

CAUSAS

Falta de espessura da camada de recobrimento, se a espessura do recobrimento for inferior ao regulamentar (EN 1317), dependendo da agressividade ambiental, os pernos e as armaduras podem sofrer corrosão. O aumento de volume associado aos produtos da corrosão provoca a fendilhação e posterior descasque do betão de recobrimento.

Ocorrência de embates de veículos, em que estes provocam esforços de tração e corte nos elementos de fixação superiores à resistência que possuem.

CONSEQUÊNCIAS

Se não for corrigido, a falta de betão de recobrimento vai favorecer a corrosão dos pernos de fixação e das armaduras da amarração da guarda de segurança. Essa corrosão vai provocar uma perda gradual por oxidação do aço, tornando assim a fixação menos resistente.

É fundamental avaliar o estado das amarrações das guardas de segurança, essa avaliação permite fazer um levantamento dos pontos onde existem danos.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Reparação da fixação da guarda de segurança.

Reparação de maciços de amarração de guardas de segurança.

Substituição ou colocação de guarda de segurança metálica.

Substituição ou colocação de prumo de guarda metálica.

Reaperto ou verificação de apertos de fixações em guardas de segurança.

ANOMALIA

Entupimento de órgãos de drenagem

COMPONENTES

Drenagem (sumidouros/gárgulas); revestimento de via.

ILUSTRAÇÃO



DESCRIÇÃO

Obstrução parcial ou total dos órgãos de drenagem nos tabuleiros das pontes. Essa obstrução deve-se na maior parte das vezes, à acumulação de sedimentos (partículas terrosas) que são arrastados pelas águas que se escoam nas bermas das faixas de rodagem. A obstrução também pode ser provocada pela acumulação de objetos ou pelo crescimento de vegetação.

CAUSAS

Acumulação de sedimentos nas bermas da faixa de rodagem, devido à falta de limpeza e manutenção periódica.

CONSEQUÊNCIAS

O entupimento dos órgãos de drenagem podem provocar a acumulação de água sobre a via, que por sua vez, prejudica as condições de segurança para o tráfego ao potencializar situações de “aquaplaning”, bem como criar condições desfavoráveis à infiltração de água através do tabuleiro, nomeadamente através de juntas entre elementos que não estejam selados corretamente.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Limpeza da via.
Limpeza dos órgãos de drenagem.

ANOMALIA**Desaperto de fixações nas juntas de dilatação****COMPONENTES**

Juntas de dilatação.

ILUSTRAÇÃO**DESCRIÇÃO**

Manifesta-se através do som do batimento das juntas aquando da passagem dos veículos. Caracteriza-se pelo desaperto das porcas em relação ao perno, ou no caso da existência de parafusos, manifesta-se pela subida da cabeça dos parafusos.

CAUSAS

Tráfego contínuo que passa sobre a obra, e a força de impacto provocadas pelas rodas dos veículos.

Deficiências na colocação, nomeadamente com ausência da camada de transição, pois a camada de transição tem a função de amortecer e transmitir ao pavimento, forças de impacto sofridas pela junta, e ainda absorver parte dos deslocamentos da junta de dilatação.

CONSEQUÊNCIAS

O desaperto das fixações em juntas de dilatação é uma situação que deve ser resolvida a curto prazo após a sua deteção, pois a força de impacto causada pela passagem dos veículos, é muito grande e pode provocar uma evolução rápida deste problema, que pode culminar no desprendimento total da junta de dilatação.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Limpeza de juntas de dilatação.

Reaperto ou verificação de aperto de fixações nas juntas de dilatação.

Preenchimento ou selagem da camada de transição com argamassa epoxy.

ANOMALIA

Degradação da camada de transição em juntas de dilatação.

COMPONENTES

Juntas de dilatação.

ILUSTRAÇÃO



DESCRIÇÃO

Quebra ou fissuração da camada de transição, acompanhada numa fase mais adiantada, de desprendimento, podendo ser acompanhada por desaperto das fixações, e da danificação dos bordos da junta de dilatação.

CAUSAS

Inadequação do material empregue na sua colocação, nomeadamente com falta de espessura e largura.

Idealmente a camada de transição deve ser constituída por um material resistente, ligeiramente flexível e não retrátil.

Se o material empregue não tiver certas propriedades mecânicas (ex. plasticidade) a camada de transição irá fendilhar mais facilmente, deixando um buraco entre o pavimento e a junta.

CONSEQUÊNCIAS

Com o passar do tempo, o material vai-se soltando, deixando descobertos buracos entre o pavimento e a junta, podendo esses buracos provocar danos nos rodados dos veículos.

Outra consequência é o desaperto das fixações e a degradação das juntas, devido à passagem dos veículos.

TRABALHOS DE RETIFICAÇÃO PROPOSTOS

Limpeza de juntas de dilatação.

Preenchimento ou selagem da camada de transição das juntas de dilatação com argamassa epoxy.