

# **TIPIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS ESTRUTURAIS EM MADEIRA EM EDIFÍCIOS ANTIGOS**

**LUÍS FILIPE SAMPAIO DA COSTA**

Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS**

---

Orientador: Prof. Dr. José Manuel Marques Amorim de Araújo Faria

JANEIRO DE 2009

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2008/2009**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais

*“A verdadeira generosidade para com o futuro consiste em dar tudo ao presente”*

*Albert Camus*





## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho contou com a colaboração de algumas pessoas e entidades, às quais queria expressar os meus agradecimentos, em especial:

- Ao Professor Doutor José Manuel Marques Amorim de Araújo Faria, como orientador deste trabalho, pela sua disponibilidade ilimitada e por todo o apoio prestado relativamente ao esclarecimento de dúvidas e à concretização deste estudo;
- À Eng. Sofia Abreu, funcionária da Câmara Municipal de Fafe, por todo o apoio prestado;
- À empresa Casais Engenharia SA, pelo apoio prestado e pelo acesso à obra;
- À empresa A. Ludgero Castro pela disponibilidade;
- Aos meus pais e amigos pelo apoio e incentivo para a concretização deste trabalho.



## **RESUMO**

Este trabalho foi efectuado no âmbito da unidade curricular Projecto / Investigação da Opção Condicionada de Construções Civas do 5º Ano do Mestrado Integrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, no ano lectivo 2008/09, e tem, como núcleo central ou objectivo principal, o estudo de soluções de reabilitação de pavimentos estruturais em madeira existentes em edifícios antigos.

A investigação realizada constitui assim essencialmente uma síntese de estudos nesta área previamente realizados por vários autores e peritos nesta matéria. Assim, procurou preparar-se um documento de fácil consulta, com alguns pormenores, julgados suficientemente claros e elucidativos, cuja leitura possa vir a contribuir para o maior conhecimento sobre uma actividade que nos nossos dias assume uma grande importância e sobre a qual existe pouca bibliografia e organização da mesma.

São apresentadas, ao longo do documento, várias perspectivas sobre os pavimentos estruturais em madeira, desde as suas vantagens e desvantagens até às principais anomalias encontradas quando se procede à inspecção de um edifício. De facto, a questão da inspecção e diagnóstico destas estruturas em edifícios antigos toma uma grande relevância neste trabalho, sendo que as suas principais linhas mestras são reveladas, dando uma especial ênfase aos ensaios não destrutivos dos elementos de madeira. Estes ensaios, juntamente com a inspecção visual, permitem a detecção de problemas existentes e que são enumerados o mais exaustivamente possível nesta mesma dissertação.

Inclui-se também no trabalho a tipificação das principais soluções utilizadas para os diversos tipos de patologias que foram objecto de estudo e enumeração prévia neste trabalho. Estas soluções são apresentadas de forma sucinta, revelando as suas principais vantagens e desvantagens, assim como a metodologia para a sua execução e documentação gráfica ilustrativa das mesmas.

Por fim, é apresentado um caso prático de estudo referente ao «Cine-Teatro de Fafe». Trata-se de um edifício do final do século XIX, que apresentava algumas patologias dos elementos estruturais em madeira dos pavimentos e, por isso mesmo, serviu de caso real para demonstração dos conceitos e propostas sintetizados neste documento.

**PALAVRAS-CHAVE:** pavimentos, madeira, patologias, inspecção e reabilitação, caso de estudo.



## **ABSTRACT**

This work was proposed in the context of the subject Project / Research of the civil Constructions Option of the 5th Year's Integrated Master in Civil Engineering of the Faculty of Engineering of the Oporto University in the 2008/09 school year, and refers to the study of the rehab solutions on the structure of wooden floors in old buildings.

The research is essentially a synthesis of studies in this area previous held by various authors and experts in this field. Thus, it was prepared a document for easy browsing, with some details, judged sufficiently clear and illustrative, whose reading is likely to contribute to greater knowledge about an activity that today is of great importance and which there is few literature and organization of the same.

Are presented throughout the document, various perspectives on the structural wood flooring, from its advantages and disadvantages to the major deficiencies found when a building is inspected. Indeed, the issue of inspection and diagnosis of these structures in buildings takes a great importance in this work, where its main lines are revealed, giving special emphasis on non-destructive testing of pieces of wood. These tests, together with visual inspection, allow the detection of problems and are listed as fully as possible in this dissertation.

This work also includes the classification of the main solutions used for the various types of diseases that were the subject of study and list this prior work. These solutions are presented in summary form, showing their main advantages and disadvantages, as well as the methodology for implementation and graphic documentation of the same.

Finally, it presents a practical case of study relating to the «Cine-Teatro de Fafe». This is a building of the late nineteenth century, which had some pathologies on the structural elements of wood floors and therefore served as a real case to demonstrate the concepts and proposals summarized in this document.

**KEYWORDS:** floors, wood, pathologies, inspection and rehabilitation, case of study.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 OBJECTO, ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO .....	1
1.2 BASES DO TRABALHO .....	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	2
<b>2 PAVIMENTOS ESTRUTURAIS EM MADEIRA</b> .....	<b>3</b>
2.1 UTILIZAÇÃO DE MADEIRA .....	3
2.1.1 <i>Generalidades</i> .....	3
2.1.2 <i>Madeiras comuns em Pavimentos</i> .....	4
2.2 ELEMENTOS PRINCIPAIS DOS PAVIMENTOS.....	5
2.2.1 <i>Generalidades</i> .....	5
2.2.2 <i>Vigamentos</i> .....	5
2.2.2.1 <i>Seccionamento</i> .....	5
2.2.2.2 <i>Espaçamentos Entre Vigas e Vãos</i> .....	6
2.2.2.3 <i>Apoios</i> .....	7
2.2.3 <i>Tarugamento</i> .....	8
2.2.4 <i>Cadeias</i> .....	9
2.2.5 <i>Soalhos</i> .....	10
<b>3 LEVANTAMENTO, INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO EM EDIFÍCIOS ANTIGOS</b> .....	<b>11</b>
3.1 ASPECTOS GERAIS.....	11
3.2 LEVANTAMENTO.....	11
3.3 INSPECÇÃO .....	12
3.3.1 <i>Detecção de Anomalias</i> .....	14
3.3.2 <i>Identificação de Espécie Lenhosa</i> .....	14
3.3.3 <i>Pontos Críticos em Pavimentos</i> .....	14
3.4 DIAGNÓSTICO.....	15
3.5 TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA .....	16
3.6 DATAÇÃO DA MADEIRA .....	17
3.6.1 <i>Dendrocronologia</i> .....	17
3.6.2 <i>Datação Por Radiocarbono</i> .....	17
3.7 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS .....	18
3.7.1 <i>Resistógrafo</i> .....	18
3.7.2 <i>Métodos de Vibrações Induzidas</i> .....	19
3.7.3 <i>Higrómetro</i> .....	20
3.7.4 <i>Ultra-Sons</i> .....	21
3.7.5 <i>Ensaio de Carga</i> .....	22
3.7.6 <i>Raios X e Raios Gamma</i> .....	22
3.7.7 <i>Pylodin – Método da Densidade Superficial</i> .....	23
3.7.8 <i>Georradar</i> .....	24

3.7.9	<i>Detecção Acústica de Insectos Xilófagos</i> .....	25
3.7.10	<i>Microondas</i> .....	26
3.7.11	<i>Termografia</i> .....	26
3.8	CRITÉRIOS PARA A ESCOLHA DA TÉCNICA NÃO DESTRUTIVA .....	27
3.9	REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA EM EDIFÍCIOS ANTIGOS.....	28
3.9.1	<i>Aspectos Gerais</i> .....	28
3.9.2	<i>Regras Principais na Reabilitação de Estruturas de Madeira</i> .....	28
<b>4</b>	<b>TIPIFICAÇÃO DE PROBLEMAS</b> .....	<b>31</b>
4.1	INTRODUÇÃO E GENERALIDADES .....	31
4.1.1	<i>Pontos Críticos Das Estruturas De Madeira</i> .....	32
4.1.2	<i>Causas De Degradação</i> .....	32
4.2	PRINCIPAIS ANOMALIAS DE ORIGEM DOS ELEMENTOS DE MADEIRA .....	33
4.3	PATOLOGIAS MAIS FREQUENTES QUE LEVAM A PERDA DE INTEGRIDADE DAS PEÇAS .....	37
4.4	PATOLOGIAS DE ORIGEM BIOLÓGICA (BIODEGRADAÇÃO) .....	37
4.4.1	<i>Fungos Xilófagos</i> .....	38
4.4.1.1	Fungos Cromogéneos e Bolores .....	38
4.4.1.2	Fungos de Podridão .....	39
4.4.2	<i>Insectos De Ciclo Larvar</i> .....	41
4.4.3	<i>Térmitas E Formigas</i> .....	42
4.4.4	<i>Outros Insectos</i> .....	43
4.4.5	<i>Xilófagos Marinhos</i> .....	44
4.5	AGENTES ATMOSFÉRICOS.....	45
4.6	AGENTES QUÍMICOS.....	46
4.7	ACÇÃO DO FOGO .....	46
4.8	DEFICIENTE CONCEPÇÃO (OU USO) ESTRUTURAL .....	48
4.8.1	<i>Humidade</i> .....	48
4.8.2	<i>Erros Estruturais</i> .....	49
4.10	DESCRIÇÃO DE PROBLEMAS ESTRUTURAIS.....	50
4.11	DURABILIDADE.....	52
4.11.1	<i>Classes De Risco</i> .....	53
4.11.2	<i>Exigências De Durabilidade Segundo As Classes De Risco</i> .....	55
<b>5</b>	<b>TIPIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES</b> .....	<b>59</b>
5.1	INTRODUÇÃO .....	59
5.2	TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO ESTRUTURAL .....	59
5.3	TÉCNICAS CORRENTES DE INTERVENÇÃO ESTRUTURAL .....	61
5.3.1	<i>Secção Insuficiente</i> .....	61
5.3.1.1	Reforço através do Aumento de Secção dos Elementos .....	61
5.3.1.2	Reparação por Substituição de Elementos Estruturais .....	62
5.3.1.3	Reforço através da Aplicação de Empalmes.....	63
5.3.1.4	Aplicação de Resinas de Epóxido e Varões Embebidos para Reforço.....	65
5.3.1.5	Reforço com Laminados de Fibra de Carbono ou Chapas de Aço.....	66
5.3.2	<i>Deformações Excessivas</i> .....	67
5.3.2.1	Colocação de Escoras de Suporte .....	68
5.3.2.2	Utilização de Tirantes Metálicos para Reforço.....	69
5.3.2.3	Introdução de Barras de Reforço Seladas com Cola Epoxídica.....	70
5.3.2.4	Uso de Mantas, Tecidos ou Telas FRP para Envolvimento de Elementos .....	71



5.3.2.5	Reconstrução das Vigas Através de Cola Epoxídica .....	71
5.3.3	<i>Problemas nos Apoios</i> .....	72
5.3.3.1	Introdução de Frechal de Madeira Assente em Cachorros de Pedra.....	72
5.3.3.2	Introdução de Frechal de Betão Armado no Interior da Parede.....	73
5.3.3.3	Utilização de Cantoneiras Metálicas .....	73
5.3.3.4	Utilização de Novas Peças de Madeira Conjuntamente com as Antigas .....	74
5.3.3.5	Fixação de Chapas e Perfis Metálicos.....	75
5.3.3.6	Introdução de Elementos Metálicos no Interior de Secções.....	75
5.3.3.7	Reforço de Apoios Comuns em Pavimentos Contínuos Biapoiados .....	76
5.3.3.8	Utilização de Varões Metálicos ou de FRP Selados com Cola Epoxídica.....	76
5.3.3.9	Reforço através da Aplicação de Empalmes.....	77
5.3.3.10	Uso de Chapas Metálicas ou de FRP no Interior de Vigas com Cola Epoxídica.....	77
5.3.4	<i>Empenamentos e Fendas</i> .....	78
5.3.4.1	Injecção de Resinas Epóxicas em Fendas .....	78
5.3.4.2	Introdução de Barras de Reforço Seladas com Cola Epoxídica.....	79
5.3.4.3	Utilização de Adesivo de Epóxido e Varões de Reforço para Selar Fendas.....	80
5.3.4.4	Utilização de Chapas, Perfis Metálicos, Parafusos ou Cintas .....	80
5.3.5	<i>Problemas de Rigidez</i> .....	82
5.3.5.1	Reforço da Ligação Pavimento-Parede .....	82
5.3.5.2	Introduzir uma Camada de Soalho Sobre a Existente .....	83
5.3.5.3	Introduzir uma Camada de Placas de Derivados da Madeira Sobre o Soalho .....	84
5.3.5.4	Aplicação de Chapas Metálicas ao Soalho Existente .....	84
5.3.5.5	Colocação de Novas Vigas a Dividir os Vãos.....	84
5.3.5.6	Colocação de Chapas Metálicas em Vigas.....	86
5.3.5.7	Colocação de Novas Peças Entre os Elementos Existentes .....	87
5.3.5.8	Reforço com Tirantes de Aço.....	88
5.3.5.9	Introdução de uma Lajeta de Betão .....	89
<b>6</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>91</b>
6.1	APRESENTAÇÃO .....	91
6.2	ENQUADRAMENTO HISTÓRICO E ADMINISTRATIVO .....	91
6.3	ARQUITECTURA DO EDIFÍCIO .....	92
6.4	A ESTRUTURA DO EDIFÍCIO .....	97
6.4.1	<i>Envolvente Exterior</i> .....	97
6.4.2	<i>Interior do Edifício</i> .....	97
6.4.3	<i>Estrutura em Madeira dos Pavimentos</i> .....	98
6.4.4	<i>Estrutura em Madeira da Cobertura</i> .....	100
6.4.5	<i>Escadas</i> .....	101
6.4.6	<i>Pilares de Suporte em Madeira</i> .....	102
6.4.7	<i>Palco</i> .....	103
6.5	DIAGNÓSTICO DOS PAVIMENTOS ESTRUTURAIS .....	103
6.5.1	<i>Pavimento do Piso Zero</i> .....	103
6.5.2	<i>Pavimento dos Pisos 1 e 2</i> .....	104
6.5.3	<i>Pavimento Salão Nobre</i> .....	106
6.6	SOLUÇÕES DE INTERVENÇÃO .....	106
6.6.1	<i>Objectivo</i> .....	106
6.6.2	<i>Condicionantes</i> .....	107
6.6.3	<i>Correcções</i> .....	108

6.6.4	Reforços.....	109
6.6.4.1	Reforços a Meio Vão.....	110
6.6.4.2	Reforço de Apoios.....	111
6.6.5	Orientações para a Execução.....	112
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>115</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>117</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 2.1 – À ESQUERDA, VIGAMENTO EFECTUADO POR TRONCOS FLAQUEADOS (ILHARCO ET AL.;2006) E À DIREITA VIGAMENTOS EM QUINA VIVA (COSTA ET AL.;2007). .....	6
FIG. 2.2 – COLOCAÇÃO DE VIGAS TRANSVERSAIS PARA DIMINUIÇÃO DE VÃO, CASA DO INFANTE, PORTO (DIAS;2008). .....	6
FIG. 2.3 – APOIO DE VIGAS COM TOPO ALTERNADO (À ESQUERDA, ILHARCO ET AL.;2006) E ENTREGAS COM TRATAMENTO PRESERVADOR (À DIREITA, COSTA ET AL.;2007).....	7
FIG. 2.4 – UTILIZAÇÃO DE FERROLHOS DE LIGAÇÃO EXTERIOR OU EM “ESQUADRO” (SEGURADO;1942). .....	8
FIG. 2.5 – TARUGAMENTO SIMPLES EM VIGAMENTO. EDIFÍCIO DO LARGO DE SÃO DOMINGOS, PORTO (ILHARCO ET AL.; 2006).....	8
FIG. 2.6 – TARUGAMENTO DE CRUZETA. ESCOLA SECUNDÁRIA RODRIGES DE FREITAS, PORTO (COSTA ET AL.;2007). .....	9
FIG. 2.7 – ESQUEMA DE TARUGAMENTO ENTALONADO (COSTA;1955). .....	9
FIG. 2.8 – ESQUEMA DE CADEIA (COSTA;1955). .....	10
FIG. 2.9 – À ESQUERDA, SOALHO COM DIFERENTES TIPOS DE MADEIRA. ESCOLA SECUNDÁRIA RODRIGES DE FREITAS, PORTO (COSTA ET AL.;2007). À DIREITA, LIGAÇÃO ENTRE TÁBUAS À INGLESA. ....	10
FIG. 3.1 – UTILIZAÇÃO DE RESISTÓGRAFO EM ESTRUTURA (À ESQUERDA, TAMPONE;2002) E BATERIA E IMPRESSORA PORTÁTIL (À DIREITA, JÚNIOR;2006). .....	18
FIG. 3.2 – APARELHOS PARA VIBRAÇÃO INDUZIDA. À ESQUERDA MARTELO DE IMPACTO E À DIREITA MEDIDOR DE VELOCIDADES DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS.....	19
FIG. 3.3 – ALGUNS TIPOS DE HIGRÓMETROS EXISTENTES NO MERCADO. ....	20
FIG. 3.4 – IMAGEM DE RAO X DE UMA TÁBUA DE PAVIMENTO EM MADEIRA. ....	23
FIG. 3.5 – APARELHO PYLODIN. ....	23
FIG. 3.6 – UNIDADE CENTRAL E ANTENA DE UM GEORRADAR. ....	24
FIG. 3.7 – APARELHOS PARA DETECÇÃO ACÚSTICA DE INSECTOS XILÓFAGOS. ....	25
FIG. 3.8 – EXEMPLO DE UM TERMÓGRAFO. ....	26
FIG. 4.1 – IDEALIZAÇÃO DOS NÓS NO INTERIOR DE UMA PEÇA E AVALIAÇÃO DO KAR TOTAL E MARGINAL (LNEC, 1997). .....	34
FIG. 4.2 – PRINCIPAIS TIPOS DE EMPENOS EM ELEMENTOS DE MADEIRA (CARVALHO, 1996). .....	35
FIG. 4.3 – PROPRIEDADES DO LENHO JUVENIL (ADAPTADO DE WOOD HANDBOOK;1999). .....	36
FIG. 4.4 – ELEMENTO DE MADEIRA COM PRESENÇA DE BOLOR.....	39
FIG. 4.5 – EXEMPLOS DE PODRIDÃO BRANCA – DA ESQUERDA PARA A DIREITA: - <i>SCHYZOPHYLLUM COMMUNE</i> F.; - <i>POLYSTICTUS VERSICOLOR</i> F.; - <i>XYLARIA HYPOXYLON</i> G.; - <i>EUTYPA FLÁVIOVIRESCENS</i> F.....	40
FIG. 4.6 – EXEMPLOS DE PODRIDÃO BRANDA – À ESQUERDA <i>CHAETOMIUM</i> E À DIREITA <i>CEPHALOSPORIUM</i> . ..	40
FIG. 4.7 – EXEMPLO DE PODRIDÃO CÚBICA – <i>SERPULA LACRYMANS</i> G (TAMPONE;2002).....	41
FIG. 4.8 – EXEMPLOS DE INSECTOS DO CICLO LARVAR – DA ESQUERDA PARA A DIREITA: - <i>ANOBIUM PUNCTATUM</i> DE GEER; - <i>HYLOTRUPES BAJULUS</i> L; - <i>LYCTUS BRUNNEUS</i> STEPH; - <i>PSELECTUS SPADIX</i> H. ....	42
FIG. 4.9 – EXEMPLO DE <i>RETICULITERMES LUCIFUGUS</i> ROSSI À ESQUERDA. À DIREITA IDENTIFICAÇÃO DOS MEMBROS DA COLÓNIA. ....	43
FIG. 4.10 – EXEMPLOS DE INSECTOS. DA ESQUERDA PARA A DIREITA: - <i>HERCULEANUS</i> L.; - <i>LIGNIPERDA</i> L.; - <i>PAURURUS JUVENCUS</i> L. ....	44
FIG. 4.11 – EXEMPLO DE XILÓFAGO MARINHO - <i>LIMNORIA TRIPUNCTATA</i> MEN. ....	44
FIG. 4.12 – EXEMPLO DE PAVIMENTO DEGRADADO DEVIDO A AGENTES ATMOSFÉRICOS.....	46
FIG. 4.13 – EXEMPLO DE SECÇÃO TRANSVERSAL DE UM ELEMENTO SUJEITO AO FOGO.....	47
FIG. 4.14 – EXEMPLO DA RESISTÊNCIA DE ELEMENTO DE MADEIRA COMPARADO COM O DE AÇO. ....	48

FIG. 4.15 – DIRECÇÃO TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE RETRACÇÃO EM TERMOS RELATIVOS (VALORES MÉDIOS PARA O PINHO BRAVO) – LNEC, 1997.....	49
FIG. 5.1 – PRÓTESES DE TOPO EM ELEMENTOS DE MADEIRA [CECCOTI, A, 1998]. .....	60
FIG. 5.2 – LIGAÇÕES DE SAMBLAGEM EM ELEMENTOS DE MADEIRA [ADAPTADO DE CECCOTI, A, 1998]. .....	60
FIG. 5.3 – ALGUNS TIPOS DE REFORÇO RECORRENDO A UM AUMENTO DE SECÇÃO (ARRIAGA; 2002). .....	62
FIG. 5.4 – EXEMPLO DE INTRODUÇÃO DE NOVOS ELEMENTOS PARA SUBSTITUIR ELEMENTOS DEGRADADOS (EM PLANTA).....	63
FIG. 5.5 – REFORÇO COM CINTAS METÁLICAS E CAVILHAS (ARRIAGA, F., 2002).....	63
FIG. 5.6 – REFORÇO COM ENTALHES SEGUNDO ESTUDO DE METTEM (ARRIAGA, F., 2002).....	64
FIG. 5.7 – REFORÇO COM ENTALHES SEGUNDO ESTUDO DE LANDA (ARRIAGA, F., 2002).....	64
FIG. 5.8 – APLICAÇÃO DE ARGAMASSA DE EPÓXIDO PARA O AUMENTO DE INÉRCIA DE VIGAS (ARRIAGA, F., 2002). .....	65
FIG. 5.9 – VIGA REFORÇADA COM COMPÓSITOS DE FRP.....	66
FIG. 5.10 – APLICAÇÃO DE PLACAS DE REFORÇO EM VIGAS SELADAS COM COLA EPOXÍDICA (ARRIAGA, F., 2002). .....	66
FIG. 5.11 – PEÇA REFORÇADA COM LAMINADO DE FIBRA DE CARBONO (ADAPTADO DE ARRIAGA, F., 2002). ..	67
FIG. 5.12 – EXEMPLO SIMPLIFICADO DA UTILIZAÇÃO DE ESCORAS EM PAVIMENTOS. ....	68
FIG. 5.13 – ESCORAS DE APOIO A VIGAS DE PAVIMENTO (CARRIÓ;1998). ....	68
FIG. 5.14 – TIPOS DE TIRANTES METÁLICOS COM ESTICADORES DE AÇO PARA REFORÇO DE VIGAS (ARRIAGA;2002).....	69
FIG. 5.15 – APLICAÇÃO DE TIRANTES PRÉ-ESFORÇADOS PARA REFORÇO ESTRUTURAL (ARRIAGA, 2002).....	69
FIG. 5.16 – REFORÇO COM BARRAS HORIZONTAIS (ARRIAGA, F., 2002). ....	70
FIG. 5.17 – REFORÇO COM BARRAS INCLINADAS (ARRIAGA, F., 2002). ....	70
FIG. 5.18 – ALÇADO E PLANTA DA UTILIZAÇÃO DE TRELIÇA COM BARRAS DE FIBRA DE VIDRO (CIGNI;1981)....	71
FIG. 5.19 – RECONSTRUÇÃO DA PARTE SUPERIOR DE VIGA COM COLA EPOXÍDICA E LIGADORES (ARRIAGA;2002).....	72
FIG. 5.20 – FRECHAL DE MADEIRA APOIADO EM CACHORRO DE GRANITO (ARRIAGA;2002). ....	73
FIG. 5.21 – FRECHAL DE BETÃO ARMADO (LOMBARDO ET ALL;1997).....	73
FIG. 5.22 – CANTONEIRA METÁLICA SERVINDO DE APOIO AO VIGAMENTO (ARRIAGA;2002). ....	74
FIG. 5.23 – UTILIZAÇÃO DE NOVAS PEÇAS DE MADEIRA DE REFORÇO (ARRIAGA;2002). ....	74
FIG. 5.24 – À ESQUERDA UTILIZAÇÃO DE PERFIL METÁLICO (ARRIAGA;2002) E À DIREITA USO DE CHAPA METÁLICA PARA REFORÇO (COSTA ET AL;2008). ....	75
FIG. 5.25 – ELEMENTO METÁLICO INSERIDO NA PEÇA DE MADEIRA COMO REFORÇO (ILHARCO ET AL.;2007). .	75
FIG. 5.26 – REFORÇO DE LIGAÇÃO ENTRE VIGAS EM APOIO COMUM, CASA DO INFANTE, PORTO (DIAS;2008).76	
FIG. 5.27 – EXECUÇÃO DE CORTE DA ZONA DEGRADADA E REALIZAÇÃO DE PRÓTESE DE EPÓXIDO (ROTAFIX;2007). .....	76
FIG. 5.28 – EXECUÇÃO DE PRÓTESE NA EXTREMIDADE DE VIGA RECORRENDO A PEÇA DO MESMO TIPO DE MADEIRA (ROTAFIX;1997).....	77
FIG. 5.29 – EXECUÇÃO DO REFORÇO ATRAVÉS DA INTRODUÇÃO DE CHAPAS E PEÇAS DE MADEIRA (ARRIAGA;2002).....	78
FIG. 5.30 – SELAGEM DE FENDAS ATRAVÉS DE RESINAS DE EPÓXIDO (ROTAFIX;2007).....	79
FIG. 5.31 – FASES DE SELAGEM DE FENDAS ATRAVÉS DE ARGAMASSA DE EPÓXIDO E VARÕES DE REFORÇO (ROTAFIX;2007). ....	80
FIG. 5.32 – PEÇA REFORÇADA COM CHAPA METÁLICA APLICADA NUMA FACE DO ELEMENTO DE MADEIRA (ARRIAGA, F.;2002). .....	80
FIG. 5.33 – USO DE CINTA METÁLICA PARA REFORÇO DE PAVIMENTO NO CONVENTO DE CORPUS CHRISTI, VILA NOVA DE GAIA, (COSTA ET AL.; 2007).....	81

FIG. 5.34 – USO DE PARAFUSO EM FENDA DE ELEMENTO DE MADEIRA (JOHNSON; 1980). .....	81
FIG. 5.35 – REFORÇO DE ELEMENTO DE MADEIRA ATRAVÉS DE UM PERFIL METÁLICO (ARRIAGA;2002). .....	82
FIG. 5.36 – REFORÇO DO APOIO DA VIGA NA PAREDE ESTRUTURAL ATRAVÉS DE UM FERROLHO DE AÇO (LOMBARDO ET AL.;1997). .....	82
FIG. 5.37 – UTILIZAÇÃO DE VERGALHÕES DE AÇO NA LIGAÇÃO PAVIMENTO-PAREDE EM PLANTA (LOMBARDO ET AL.;1997). .....	83
FIG. 5.38 – APLICAÇÃO DE NOVO SOALHO E RESPECTIVAS LIGAÇÕES DAS VIGAS ÀS PAREDES (LOMBARDO ET AL.;1997) E À DIREITA UM ESQUEMA COM UTILIZAÇÃO DAS PEÇAS METÁLICAS HORIZONTAIS (MARINI ET AL.;2006). .....	83
FIG. 5.39 – APLICAÇÃO DE PAINÉIS DE DERIVADOS DE MADEIRA SOBRE SOALHO EXISTENTE (MARINI ET AL.;2006). .....	84
FIG. 5.40 – APLICAÇÃO DE CHAPAS METÁLICAS SOBRE SOALHO EXISTENTE (MARINI ET AL.;2006). .....	84
FIG. 5.41 – DIVISÃO DE VÃO EXISTENTE ATRAVÉS DA INTRODUÇÃO DE VIGA DE REFORÇO (DIAS;2008).....	85
FIG. 5.42 – DIVISÃO DE VÃO EXISTENTE ATRAVÉS DO USO DE DOIS NÍVEIS DE PERFIS METÁLICOS (DIAS;2008). .....	85
FIG. 5.43 – UTILIZAÇÃO DE VIGA DE REFORÇO TRANSVERSAL APOIADA EM PILARES DE MADEIRA (COSTA ET ALL; 2007). .....	86
FIG. 5.44 – COLOCAÇÃO DE CHAPAS METÁLICAS SOBRE AS VIGAS (GATTESCO ET AL.;2006). .....	86
FIG. 5.45 – LIGAÇÃO DAS CHAPAS METÁLICAS ÀS PAREDES E VIGAS (À ESQUERDA) E ESQUEMA DA TRELIÇA METÁLICA HORIZONTAL PARA REFORÇO (GATTESCO ET AL.;2006). .....	87
FIG. 5.46 – CALÇOS APLICADOS EM PAVIMENTO ANTIGO DE MADEIRA (ÍLHARCO ET ALL;2007). .....	87
FIG. 5.47 – UTILIZAÇÃO DE PERFIS METÁLICOS INTERCALADOS COM AS VIGAS DE MADEIRA EXISTENTES, MOSTEIRO DE TIBÃES, BRAGA (DIAS;2008).....	88
FIG. 5.48 – REFORÇO DO PAVIMENTO COM TIRANTES (À ESQUERDA) E PORMENOR DE LIGAÇÃO NOS CANTOS DAS DIVISÕES (BRANCO;2007). .....	88
FIG. 5.49 – COLOCAÇÃO DE LAJETA DE BETÃO SOBRE O PAVIMENTO DE MADEIRA (ARRIAGA;2002).....	89
FIG. 5.50 – PORMENORES DA COLOCAÇÃO DE LAJETA DE BETÃO SOBRE PAVIMENTO DE MADEIRA (LOMBARDO ET AL.;1997).....	90
FIG. 6.1 – PLANTA DA PLATEIA E RESPECTIVA DISTRIBUIÇÃO DE LUGARES (MONTEIRO;1991). .....	93
FIG. 6.2 – FACHADA DO CINE-TEATRO DE FAFE NO PASSADO (À ESQUERDA) E TECTO DA SALA PRINCIPAL DO EDIFÍCIO (À DIREITA).....	94
FIG. 6.3 – PLANTA DA COBERTURA DO EDIFÍCIO E RESPECTIVAS DIVISÕES. ....	94
FIG. 6.4 – PLANTA DO PISO 2 DO EDIFÍCIO E RESPECTIVAS DIVISÕES.....	95
FIG. 6.5 – PLANTA DO PISO 1 DO EDIFÍCIO E RESPECTIVAS DIVISÕES.....	95
FIG. 6.6 – PLANTA DO PISO 1 DO EDIFÍCIO E RESPECTIVAS DIVISÕES.....	96
FIG. 6.7 – PLANTA DO PISO 1 DO EDIFÍCIO E RESPECTIVAS DIVISÕES.....	96
FIG. 6.8 – TECTO EM ESTUQUE ORNAMENTAL DO HALL DE ENTRADA (À ESQUERDA) E À DIREITA O TECTO DO BUFFET, NO QUAL SE VERIFICA TAMBÉM O CORTE EFECTUADO NUMA PAREDE DIVISÓRIA EM TABIQUE. ...	98
FIG. 6.9 – PLANTA COM DISTRIBUIÇÃO TÍPICA DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS DOS PAVIMENTOS DE MADEIRA. A VERMELHO AS VIGAS PRINCIPAIS E A VERDE AS SECUNDÁRIAS. ....	99
FIG. 6.10 – ESTRUTURA PRINCIPAL EM MADEIRA DA COBERTURA. ....	100
FIG. 6.11 – REVERSO DA ABÓBADA E SEU ESCORAMENTO AOS PILARES (À ESQUERDA) E SISTEMA DE SUPORTE A ELEMENTOS DE MADEIRA (À DIREITA). ....	100
FIG. 6.12 – ESTRUTURA QUE SERVE DE PASSADIÇO PARA CIRCULAÇÃO NA ZONA DE COBERTURA. ....	101
FIG. 6.13 – ESCADAS DE ACESSO A FRISA NO RÉS-DO-CHÃO. ....	102
FIG. 6.14 – TOPO DOS PILARES E SISTEMA DE TRAVAMENTO (À ESQUERDA). AO CENTRO ENCONTRA-SE PORMENOR DE ORNAMENTAÇÃO DO PILAR E À DIREITA A BASE DO PILAR. ....	102

FIG. 6.15 – PORMENOR DO APOIO DAS VIGAS EM MUROS DE ALVENARIA DE PEDRA (À ESQUERDA) E ALGUNS PROBLEMAS DE EMPENAMENTOS E FENDAS VERIFICADOS (À DIREITA).....	104
FIG. 6.16 – CORTE QUE DEMONSTRA O DESNÍVEL DO PAVIMENTO ENTRE A ENTRADA NA PLATEIA E A ZONA DO PALCO. ....	104
FIG. 6.17 – CORTE QUE DEMONSTRA PARTE DOS CAMOROTES DOS PISOS 1 E 2. ....	105
FIG. 6.18 – ZONA DE CORREDOR DE ACESSO AOS CAMAROTES COM ESTRUTURA DO PAVIMENTO SUPERIOR VISÍVEL (À ESQUERDA) E PADIEIRA DE PORTA DEGRADADA DEVIDO A DEFORMAÇÕES DOS PAVIMENTOS (À DIREITA). ....	105
FIG. 6.19 – ALGUMAS PATOLOGIAS ENCONTRADAS NOS VIGAMENTOS DOS PAVIMENTOS DOS PISOS 1 E 2. ..	106
FIG. 6.20 – PAVIMENTO DO SALÃO NOBRE.....	106
FIG. 6.21 – COLOCAÇÃO DE ESCORAMENTO PARA APOIO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS DOS PAVIMENTOS DEVIDO A COLOCAÇÃO DE CONDUTAS DO SISTEMA AVAC. ....	108
FIG. 6.22 – COLOCAÇÃO DE NOVOS FASQUIADOS DE SUPORTE DE ESTUQUES. ....	109
FIG. 6.23 – CORRECÇÃO DE APOIO DO PAVIMENTO JUNTO A PORTA PARA O EXTERIOR. ....	109
FIG. 6.24 – REFORÇO DO PAVIMENTO DO PISO 0 COM RECURSO A ESCORAS DE MADEIRA.....	110
FIG. 6.25 – REFORÇO DE VIGAS COM A COLOCAÇÃO DE NOVOS ELEMENTOS DO PISO 1. ....	111
FIG. 6.26 – REFORÇO DOS APOIOS DAS VIGAS DOS PAVIMENTOS COM ELEMENTOS METÁLICOS. ....	111
FIG. 6.27 – REFORÇO DE APOIOS COM RECURSO A ARGAMASSAS DE EPÓXIDO. ....	112
FIG. 6.28 – INTRODUÇÃO DE FRECHAL DE MADEIRA PARA APOIO DE VIGAS DOS PAVIMENTOS.....	112

**ÍNDICE DE TABELAS**

TABELA 3.1 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DO RESISTÓGRAFO. ....	19
TABELA 3.2 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE VIBRAÇÕES INDUZIDAS. ....	20
TABELA 3.3 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE HIGRÓMETROS. ....	21
TABELA 3.4 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE ULTRASONOS. ....	22
TABELA 3.5 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE RAIOS X E/OU GAMMA. ....	23
TABELA 3.6 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DO APARELHO PYLODIN. ....	24
TABELA 3.7 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE GEORRADAR. ....	25
TABELA 3.8 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE APARELHOS ACÚSTICOS. ....	25
TABELA 3.9 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE MICROONDAS. ....	26
TABELA 3.10 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DE TERMÓGRAFOS. ....	26
TABELA 3.11 – TÉCNICAS DE INSPECÇÃO DE ACORDO COM OBJECTIVO. ....	27
TABELA 4.1 – CAUSAS DE PROBLEMAS. ....	51
TABELA 4.2 – CLASSES DE DURABILIDADE. ....	52
TABELA 4.3 – CLASSES DE TRATABILIDADE. ....	53
TABELA 4.4 – CLASSES DE RISCO. ....	54
TABELA 4.5 – CLASSES DE RISCO PARA MADEIRA MACIÇA. ....	55
TABELA 4.6 – EXIGÊNCIAS DE DURABILIDADE DE ACORDO COM A CLASSE DE RISCO DA MADEIRA. ....	56
TABELA 4.7 – CAUSAS DE DEGRADAÇÃO. ....	57









# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 OBJECTO, ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO

As estruturas de madeira são usadas pelo Homem desde há séculos para construir infraestruturas do seu interesse. Este é um material de eleição pela sua abundância, características mecânicas e durabilidade. Por isso mesmo, muitas das estruturas realizadas ao longo do tempo têm-se mantido em bom estado de conservação até aos nossos dias. As que não resistem, devido a má utilização humana, devem ser estudadas e reabilitadas de forma a poder alcançar as potencialidades e qualidades da madeira e assim conservar o património e a história que cada edifício guarda.

Hoje em dia, a reabilitação e conservação de edifícios antigos é, cada vez mais, um tema de interesse geral, assumindo um papel preponderante na renovação dos centros históricos de cidades. Assim, as patologias das estruturas de madeira e respectivas soluções de intervenção, e em particular dos pavimentos estruturais, por exemplo, assumem um papel importante no meio técnico da reabilitação de edifícios.

A informação técnica existente sobre este tema específico é escassa, sendo que as poucas abordagens existentes são relativas a análises dos pavimentos sobre a componente estrutural deixando, por isso, as questões tecnológicas e de utilização dos espaços muito incompletas. Além disso, as informações sobre reabilitação e soluções de intervenção em pavimentos de madeira encontram-se muito dispersas pela bibliografia, tornando assim, a sua organização e análise mais complicada.

Sendo assim, a presente tese, intitulada de “Tipificação de Soluções de Reabilitação de Pavimentos Estruturais em Madeira em Edifícios Antigos” tem por objectivo principal a análise das técnicas e tecnologias de reabilitação de pavimentos estruturais em madeira mais comuns no nosso país, incluindo as fases essenciais de inspeção e diagnóstico.

Pelo facto de se realizar, na parte final da tese, uma análise de um caso prático de intervenção num edifício antigo, é possível perceber melhor algumas das anomalias e respectivas soluções que usualmente são empregues neste tipo de intervenções.

Aspectos importantes tais como o cálculo estrutural não fazem parte do âmbito deste trabalho. Assim, pretende-se limitar o âmbito à sistematização e pormenorização das técnicas de intervenção para pavimentos de madeira, procurando com este trabalho, dar apoio à grande necessidade de informação sobre esta matéria no meio técnico nacional.

## 1.2 BASES DO TRABALHO

Este trabalho apoiou-se sobretudo em dissertações e outros trabalhos de investigadores nacionais e internacionais na área das estruturas de madeira (mencionados na bibliografia).

De entre os trabalhos nacionais, merecem destaque especial as teses de Tiago Dias (Mestrado, 2008), na área de análise estrutural de pavimentos de madeira, de Miguel Lopes (Mestrado, 2007), no estudo de soluções de intervenção em estruturas de coberturas de edifícios antigos, de Jerónimo Botelho (Mestrado, 2006), na parte de inspecção e diagnóstico de estruturas de madeira, de Romana Rodrigues (Mestrado, 2004), na componente relacionada com reforço estrutural de estruturas de madeira, e de José Cruz (Mestrado, 1993), na área das anomalias, reparação e técnicas de reforço de estruturas de madeira.

Para além disso, houve uma pesquisa bibliográfica exaustiva e abrangente de material relacionado com o tema em questão. De entre elas são de destacar a pesquisa de revistas técnicas, artigos, comunicações, congressos, seminários e informação online, tanto técnica como comercial.

## 1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A tese encontra-se estruturada em 7 capítulos, em que no primeiro se faz uma breve apresentação do trabalho realizado, do seu âmbito e organização, assim como das bases em que se fundamenta.

No capítulo 2 faz-se uma análise histórica da utilização de madeiras em pavimentos estruturais de madeira, assim como a sua caracterização. As formas comuns de execução são abordadas, assim como os elementos que usualmente dão forma aos pavimentos, desde os mais gerais até aos mais singulares. Assim, é possível conhecer quais as habituais metodologias construtivas e tipos de madeira utilizados nos pavimentos.

No capítulo 3 são abordadas as fases de levantamento, diagnóstico e inspecção de estruturas de pavimentos em edifícios antigos. É nesta fase que são apresentadas algumas tecnologias que permitem uma correcta avaliação do estado de conservação dos elementos em madeira, nomeadamente os não destrutivos, e quais os seus critérios de selecção. Por fim, são apresentadas algumas regras importantes a cumprir quando se procede à reabilitação de estruturas de madeira.

O capítulo 4 apresenta algumas das principais patologias encontradas em estruturas de madeira em edifícios antigos. Além disso, são descritas as principais classes de risco e de durabilidade referente a elementos de madeira, assim como outra informação de carácter geral na área da durabilidade da madeira relevante para este trabalho.

No capítulo 5 são descritas as principais soluções para os problemas apresentados no capítulo anterior. Estas soluções são apresentadas de acordo com a sua utilização nas patologias observadas *in situ*, ou seja, para determinado tipo de anomalia são apresentadas algumas soluções habitualmente usadas na reabilitação de edifícios antigos.

O Capítulo 6 descreve um caso prático de reabilitação de pavimentos estruturais de um edifício antigo. Neste caso trata-se da reabilitação do Cine-Teatro de Fafe. É efectuada uma apresentação geral do edifício, tanto histórica como arquitectónica, seguindo-se uma descrição dos elementos estruturais em madeira fundamentais do edifício. Depois são descritos alguns problemas encontrados nos pavimentos, seguindo-se algumas sugestões de intervenção que permitem a sua resolução.

O Capítulo 7 conclui o trabalho com uma apreciação geral acerca do tema de estudo e do trabalho realizado.

# 2

## PAVIMENTOS ESTRUTURAIS EM MADEIRA

### 2.1 UTILIZAÇÃO DE MADEIRA

#### 2.1.1 GENERALIDADES

As estruturas de madeira, devido às suas características, têm sido bastante utilizadas pelo Homem desde a sua existência. A madeira permite a construção de estruturas leves, resistentes, com dimensões variáveis e com formas e cores múltiplas devido à imensa quantidade de espécies existentes. Este facto tem permitido a permanência da madeira como uma das principais matérias-primas na construção de edifícios.

A utilização da madeira apresenta variadas vantagens, entre estas o facto de ser um material amigo do ambiente. Este é também, de facto, dos poucos materiais renováveis, fazendo assim com que os projectistas de edifícios que tenham em vista uma construção sustentável, prefiram a utilização da madeira como material a privilegiar. Para além disso, as árvores são as grandes consumidoras de dióxido de carbono e libertadoras de oxigénio, fazendo assim com que a produção de madeira para a construção tenha um impacto positivo para o ambiente. Hoje em dia, as novas tecnologias permitem uma utilização de todas as partes da árvore e, para além disso, fazem com que os novos produtos derivados da madeira utilizem cada vez mais material de espécies de rápido crescimento. A acrescentar ao facto, a madeira é um excelente isolador térmico, permitindo aos edifícios um menor gasto energético, bem como levando a que estes provoquem menores impactes no meio ambiente.

Outra das características importantes do uso da madeira é a sua elevada resistência, nomeadamente quando comparada com o seu peso. De facto, a madeira tem uma razão resistência/peso 20% superior à do aço e 5 vezes superior à do betão em compressão. Devido ao seu baixo peso, pode também ter efeitos positivos na redução do tamanho das fundações e no funcionamento das estruturas, através do efeito da acção sísmica.

A madeira é um material esteticamente agradável, apresentando cores e texturas variadas que poderão ser melhoradas com a utilização de vernizes, lacas e outros produtos de acabamento. É um material que permite a adopção de formas invulgares na construção de estruturas de edifícios e, assim, dar forma à imaginação e criatividade dos projectistas. Isto alia-se ao facto de a madeira ser facilmente

trabalhável, e de os diferentes elementos construtivos poderem ser adequadamente ligados entre si através de colas, pregos, parafusos e cavilhas.

Em relação à durabilidade, pode dizer-se que a madeira tem uma durabilidade excepcional quando é utilizada em estruturas que obedecem aos critérios aplicáveis de avaliação da qualidade da construção e manutenção, que tem de ser frequente e cuidada. Para além disso, pode ser tratada com produtos preservadores para melhorar a sua durabilidade, e aliada na construção junto de outro tipo de materiais, por razões estéticas ou funcionais. A madeira seca é um excelente isolador térmico, acústico e eléctrico, sendo também um material que absorve bastantes vibrações em determinadas condições. De facto, nos pavimentos estruturais, estas são características importantes que, aliadas ao facto de a madeira ter uma baixa condutividade eléctrica (que favorece a não interferência com sistemas “sem-fios”), permitem à madeira um bom comportamento neste tipo de estruturas.

Existe a possibilidade de haver um reaproveitamento da madeira de edifícios demolidos, fazendo desta um material biodegradável e, ao mesmo tempo, reciclável. A madeira pode ser transformada por compostagem, transformada para produtos derivados ou então transformada em elementos de construção, quer sejam eles estruturais ou não.

No que diz respeito à resistência ao fogo, a madeira apresenta muito bons resultados. A taxa de combustão é bastante lenta e as características da madeira da zona não ardida mantêm-se praticamente inalteradas. Em elementos com dimensões menores, a utilização de revestimentos incombustíveis permite-lhes uma protecção bastante alta (normalmente de cerca de 30 minutos de fogo em pleno desenvolvimento, para as soluções mais correntes).

Assim, a utilização da madeira em pavimentos estruturais deste tipo prende-se com o facto de esta fornecer características únicas a estas mesmas estruturas. A qualidade e versatilidade da madeira, aliadas à sua agradável estética, fazem com que seja um material preferido na realização de pavimentos amigos do ambiente. O baixo peso da madeira permite a adopção de formas arrojadas e de elevada resistência, factores esses que, aliados à cada vez maior durabilidade da madeira, fazem deste material o eleito por muitos projectistas.

### 2.1.2 MADEIRAS COMUNS EM PAVIMENTOS

Hoje em dia existe um vasto leque de opções na utilização de madeira na construção, principalmente devido ao aparecimento dos seus derivados. Apesar disso, é usual a preferência por madeiras maciças em pavimentos estruturais em madeira. Este facto deve-se à não existência de colagem de materiais para obtenção dos elementos e, por isso mesmo, o elemento ser mais homogéneo e permitir um funcionamento mais fiável.

As madeiras maciças provêm de troncos de árvore, que posteriormente são transformados em elementos redondos (toros) ou então em madeira serrada (por exemplo, vigas).

Nos edifícios antigos existem algumas variedades de madeira usadas nas estruturas deste tipo. Entre elas são de destacar:

- Carvalho (*Quercus Robur*) – Madeira de Folhosa dura. Tem resistência e durabilidade bastante elevada e apenas apresenta a desvantagem de ter uma massa volúmica elevada;
- Castanho (*Castanea sativa Mill*) – Madeira de Folhosa dura. Tem massa volúmica relativamente baixa, elevada durabilidade e é relativamente boa de trabalhar;

- Pinho Bravo (*Pinus Pinaster*) – Madeira de Resinosa com dureza intermédia. A grande vantagem desta é a sua trabalhabilidade e abundância. Apesar disso, apresenta muitos nós e, por isso mesmo, fendilha facilmente. Além disso, é bastante susceptível a ataques bióticos, exigindo rigorosos tratamentos;

- Pinho Manso (*Pinus Pinea*) – Praticamente igual ao Pinho Bravo, diferenciando-se deste pelo facto de apresentar menos nós e ser uma madeira esteticamente mais regular.

Apesar de serem apresentados apenas estes tipos de madeiras, muitos outros poderão ser utilizados na construção/reabilitação de pavimentos estruturais em madeira. Para isso, basta analisar as apetências para a sua utilização neste tipo de estruturas, desde características morfológicas até às físicas.

## **2.2 ELEMENTOS PRINCIPAIS DOS PAVIMENTOS**

### **2.2.1 GENERALIDADES**

Os pavimentos estruturais em madeira (ou sobrados) são constituídos por diversos elementos que permitem a excelente funcionalidade destas estruturas. Estas estruturas horizontais são constituídas essencialmente pelo vigamento e pelos soalhos. Para além disso, são constituídas por outras estruturas secundárias, como os tarugos e cadeias, que têm como função tornar o conjunto mais homogéneo e melhorar o funcionamento do conjunto, sobretudo em relação a acções pontuais ou no próprio plano da estrutura.

As vigas, tarugos e cadeias são usualmente designadas por “obras de toSCO”, dado serem estruturas que raramente estão à vista. Estes elementos não costumam ser trabalhados, apenas sendo serrados e colocados em obra. Por outro lado, existem os trabalhos “limpos” ou os de “obra branca”, que se referem aos elementos que apresentam um acabamento mais cuidado e trabalhado.

### **2.2.2 VIGAMENTOS**

Os elementos constituintes dos vigamentos são essencialmente as vigas ou barrotes. Estes são dispostos paralelamente e com um determinado intervalo entre si, tendo normalmente uma geometria esquadriada (de secção rectangular) ou, em edifícios mais antigos, a forma do tronco de madeira, eventualmente com o corte da porção extrema em uma ou duas faces.

#### **2.2.2.1 Seccionamento**

Nos edifícios mais antigos, normalmente anteriores ao início do século XX, os vigamentos eram realizados com “paus rolados”, designação frequentemente atribuída aos troncos de madeira. Por vezes, estes eram flaqueados nas duas faces por causa da colocação dos soalhos e dos tectos, embora frequentemente apareçam vigas flaqueadas nas quatro faces, principalmente junto às fachadas dos edifícios (Teixeira;2004).

A utilização de vigas com quina viva é a mais comum, embora por economia sejam muitas vezes utilizadas vigas de madeira de meia-quadra. Estes elementos estruturais costumam ter comprimentos entre os 4 e os 7 metros, dado que não era apropriado usar elementos maiores para estruturas de pavimentos, por razões estruturais (pelo facto de não haver a realização de cálculos para os pavimentos, principalmente).



Fig. 2.1 – À esquerda, vigamento efectuado por troncos flaqueados (Ilharco et al.;2006) e à direita vigamentos em quina viva (Costa et al.;2007).

Dado a variação de diâmetro das vigas entre extremidades, ou seja, como uma das extremidades tem sempre maior secção que a outra, é usual apoiá-las alternadamente, isto é, uma secção maior junto de uma secção menor.

A partir do século XX começaram a ser empregues soluções que se prendem com a utilização de vigamentos rectangulares, solução que se mantém até aos nossos dias.

#### 2.2.2.2 Espaçamentos Entre Vigas e Vãos

Segundo (Segurado;1942), os espaçamentos entre vigas deveriam ser de cerca de 0,3 metros, visto que assim seria mais fácil a colocação do fasquiado para o posterior revestimento inferior dos tectos. No entanto, verifica-se que o espaçamento entre estes elementos ronda, normalmente, entre os 0,4 e os 0,7 metros de eixo a eixo, sendo que as últimas vigas são frequentemente colocadas junto das paredes.

Quando o vão dos pavimentos aumentava significativamente, era usual a colocação no sentido perpendicular de vigas sob o vigamento existente. A partir do século XIX, nos vãos superiores a 7 metros são utilizadas vigas metálicas para reforço desses mesmos pavimentos, ou então como alternativa aos vigamentos de madeira (Feio;2005). A introdução destas vigas a meio vão permite a absorção, por parte destas, de grande parte das cargas. Este facto faz com que deva haver um cuidado com o apoio destas vigas (através de pilares de pedra ou metálicos) e com as padieiras de portas e janelas, que não têm muitas vezes capacidade resistente suficiente para receber essa acção concentrada no apoio.



Fig. 2.2 – Colocação de vigas transversais para diminuição de vão, Casa do Infante, Porto (Dias;2008).



Deve construir-se ou reabilitar pavimentos através da criação de um espaçamento entre vigas o maior possível, sem que este facto traga problemas de utilização ou manutenção. É, de facto, importante reduzir o número de vigas no pavimento, para que o seu peso próprio seja inferior e, deste modo, haja menor possibilidade de ocorrência de problemas estruturais. Por outro lado, deve controlar-se as deformações dos mesmos, para que não haja graves problemas de utilização e desconforto na utilização destas mesmas estruturas.

### 2.2.2.3 Apoios

Este é, de facto, um dos pontos fulcrais dos pavimentos estruturais em madeira. Os apoios (ou entregas) dos vigamentos são, normalmente, efectuados nas paredes estruturais em alvenaria com uma determinada dimensão de penetração nas mesmas. De facto, segundo (Costa;1955), essas entregas devem ter no mínimo 0,2 ou 0,25 metros para além da face da parede, para que assim se consiga uma boa estabilidade e uma redução de vibrações adequada.

Segundo (Teixeira;2004), era usual apoiar-se as vigas em toda a largura da parede, sendo que, na maioria dos casos, se verificava que esse apoio se reduzia a 2/3 da espessura da mesma. Este facto está relacionado com a exposição das extremidades das vigas às intempéries, que poderia acarretar graves problemas funcionais. Assim, para evitar este problema, é comum encontrar, em edifícios antigos, topos de vigas nas quais foi aplicado um tratamento para evitar o apodrecimento das mesmas (normalmente à base de tinta de óleo, alcatrão, zarcão ou placas de cortiça).



Fig. 2.3 – Apoio de vigas com topo alternado (à esquerda, Ilharco et al.;2006) e entregas com tratamento preservador (à direita, Costa et al.;2007).

Na ligação das vigas à parede, segundo (Segurado;1942), era frequente o uso de ferrolhos metálicos de variadas configurações, que se baseavam na utilização de chapas metálicas aparafusadas ou pregadas às vigas e que, posteriormente, se prendiam à parede. Esta selagem era efectuada de duas maneiras: ou no exterior da parede (através de uma chaveta) ou no interior da parede (com recurso a ferrolhos tipo “esquadro”, que vergavam a 90.º no interior da mesma).

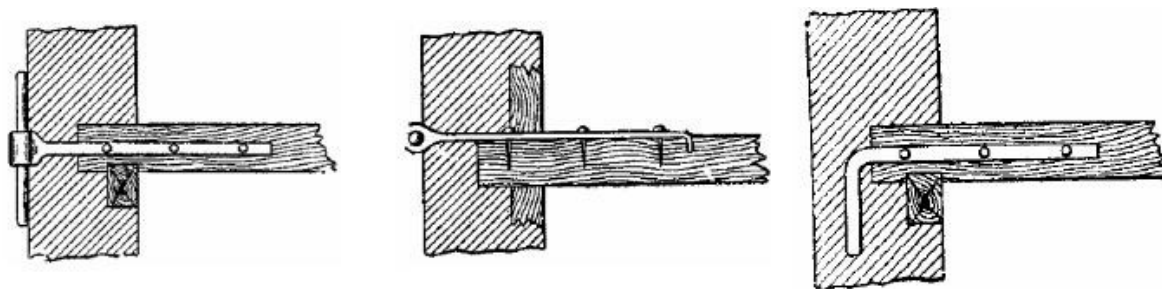


Fig. 2.4 – Utilização de ferrolhos de ligação exterior ou em “esquadro” (Segurado;1942).

Por vezes, quando o pavimento estava sujeito a cargas elevadas, era usual aumentar a área de apoio e de distribuição do peso dos vigamentos, através da colocação de elementos de pedra, chapas de ferro ou elementos em madeira encaixados na parede. De acordo com (Segurado;1942), o uso de cachorros de pedra salientes para dentro das divisões, sobre os quais assentavam as vigas, era comum, uma vez que permitia uma menor exposição das vigas aos agentes atmosféricos.

Quando os apoios se efectuavam sobre paredes de tabique interiores, era também usual a colocação de frechais corridos e embutidos nas paredes. Esta solução permitia a distribuição uniforme de cargas e evitava as deformações pontuais nas paredes.

### 2.2.3 TARUGAMENTO

A utilização de tarugos consiste na introdução de elementos em madeira de menor secção que as vigas principais, que são colocados entre elas no sentido transversal. Os tarugamentos mais utilizados consistem nos esquadriados, embora em edifícios antigos (anteriores ao século XX) seja frequente o uso de tarugamentos simples.

O uso de tarugamentos é efectuado para reduzir a secção das vigas dos pavimentos, bem como o efeito de bambeamento, dado que obriga as vigas a trabalhar em conjunto. Para além disso, estes tarugos podem ser usados para provocar uma contra-flecha no pavimento, embora este acto deva ser efectuado com os devidos cuidados, visto que pode danificar as ligações entre o pavimento e a parede (Segurado;1942).

De acordo com (Costa;1955), existem três tipos fundamentais de tarugamentos. Estes devem ser realizados com a criação de alinhamentos contínuos transversais ao vigamento e podem ser do tipo:

- **Tarugamento simples** – tarugos de comprimento igual ao espaçamento entre vigas, colocados de baixo para cima e com secção (preferencial) igual à das vigas. A ligação dos tarugos às vigas é efectuada através de pregos.



Fig. 2.5 – Tarugamento simples em vigamento. Edifício do Largo de São Domingos, Porto (Ilharco et al.; 2006).

- **Tarugamento de cruzeta** – consiste na introdução de ripas de madeira de pequena secção de encontro às vigas (nas quais são abertas previamente reentrâncias para encaixe dos tarugos). A aplicação consiste na introdução de tarugos cruzados entre si, ou seja, primeiro coloca-se uma ripa (tarugo) apoiada na parte superior de uma viga e na parte inferior de outra e, de seguida, é colocado outro tarugo cruzado, formando assim uma cruzeta.



Fig. 2.6 – Tarugamento de cruzeta. Escola Secundária Rodrigues de Freitas, Porto (Costa et al.;2007).

- **Tarugamento entalonado** – consiste na introdução de tarugos (com secção igual à das vigas) nos vigamentos, provocando assim um sistema rígido e complexo. Em primeiro lugar, efectua-se a abertura de entalhes nas vigas, de forma a criar uma base para o entalhe dos tarugos. De seguida, mede-se o comprimento necessário para os tarugos. Nos topos dos tarugos são deixadas orelhas e talões para melhor encaixe nas vigas, encaixe esse que deverá ser efectuado à compressão para melhor coesão, e pregado às vigas para melhor fixação. O problema comum neste tipo de tarugamento resulta da possível redução de dimensões dos tarugos por secagem.

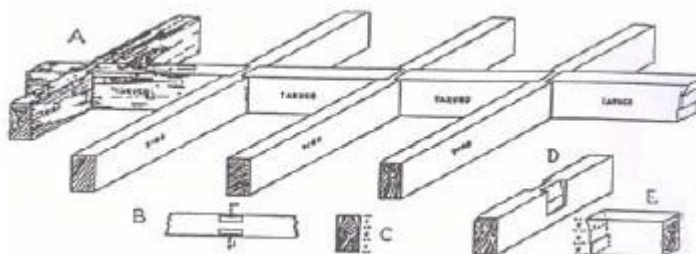


Fig. 2.7 – Esquema de tarugamento entalonado (Costa;1955).

#### 2.2.4 CADEIAS

As cadeias são utilizadas quando surgem impedimentos construtivos que obriguem a alterar a configuração dos pavimentos, de modo a contornar esses obstáculos. De facto, a presença de caixas de escadas ou chaminés, por exemplo, obriga a interromper os vigamentos antes de estes encontrarem os seus apoios nas paredes de alvenaria.

Na maioria destes casos não é conveniente apoiar os vigamentos em pisos inferiores. Por isso mesmo, torna-se necessário efectuar uma intervenção que permita a transmissão das cargas desses vigamentos para outros que apoiem nas paredes. Esta intervenção consiste na introdução de cadeias ou jugos, que não é mais do que a colocação de vigas perpendiculares e encastradas em vigas principais, de modo a

que se consiga contornar o obstáculo. Essas vigas principais devem ter secção superior às restantes, para que consigam resistir a esse excesso concentrado de carga. De facto, cometeram-se erros no passado mais recente, na introdução de cadeias sem acautelar devidamente a capacidade resistente das vigas situadas no limite da abertura servida pela cadeia.

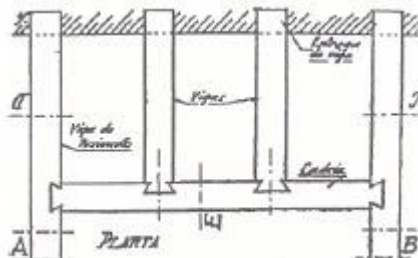


Fig. 2.8 – Esquema de cadeia (Costa;1955).

Se o vigamento for paralelo à parede em que se encontra o obstáculo, é necessário efectuar duas cadeias laterais, onde encaixam as vigas. Estas vigas, segundo (Segurado;1942), podem ser substituídas por uma série de pequenas vigas, devidamente distanciadas entre si. Através da eliminação de folgas na cadeia e da correcta execução de entalhes nas vigas, assegurava-se um bom travamento estrutural (Costa;1955).

### 2.2.5 SOALHOS

O revestimento superior preferencial para os pavimentos é o soalho. Este pode ser realizado através de diferentes madeiras e com variados formatos. A ligação entre tábuas é variada, podendo ser de numerosos tipos: - de junta, de macho e fêmea (à inglesa), de chanfro ou então de meio-fio (à portuguesa).

O tipo de ligação entre tábuas mais comum nos edifícios antigos em Portugal é o de macho e fêmea e o de meio-fio. Os primeiros assumiam uma maior preferência, dado que permitiam o encobrimento dos pregos, ou seja, estes eram colocados na saliência do macho, no qual era encaixada posteriormente a fêmea, que ocultava o mesmo.

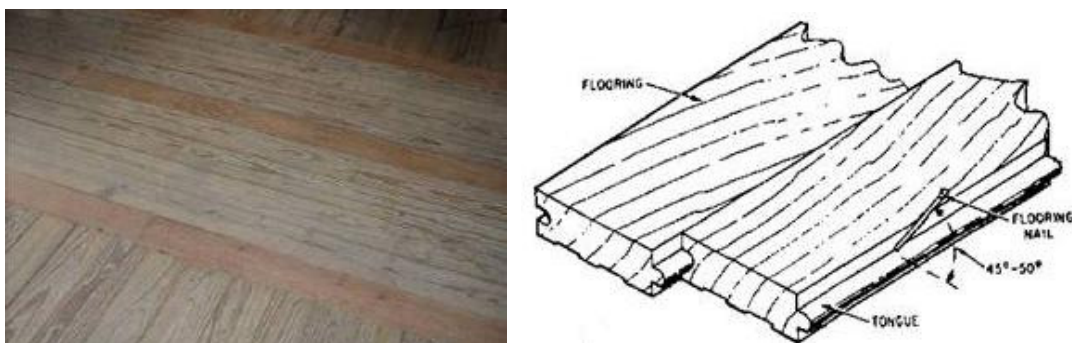


Fig. 2.9 – À esquerda, soalho com diferentes tipos de madeira. Escola Secundária Rodrigues de Freitas, Porto (Costa et al;2007). À direita, ligação entre tábuas à inglesa.

# 3

## LEVANTAMENTO, INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO EM EDIFÍCIOS ANTIGOS

### 3.1 ASPECTOS GERAIS

Na manutenção e reabilitação de edifícios, a utilização de ferramentas ou métodos que possam ajudar no desenvolvimento das características de durabilidade das madeiras, compreensão dos mecanismos da sua degradação e descrição de situações anómalas, é fundamental para a sua correcção. É desejável então que as equipas de inspecção sejam constituídas por elementos pluridisciplinares, ou seja, elementos que consigam detectar degradações nas madeiras, e decidam sobre possíveis processos curativos, mas também elementos que consigam fazer uma análise mais abrangente do edifício, nomeadamente o seu funcionamento estrutural. Para a actuação das equipas, é assim necessário obter autorizações para levantamento de dados e realização de ensaios no interior do edifício. Assim, métodos como os de levantamento, inspecção e diagnóstico, são fundamentais para uma clara descrição de problemas e uma acertada solução para a sua reabilitação.

### 3.2 LEVANTAMENTO

Esta é a primeira etapa a ser concretizada e deverá ser efectuada antes da elaboração do projecto de intervenção no edifício. Este processo contém várias alíneas gerais a ser adoptadas, entre elas

- a) Pesquisa de material que relata a história do edifício, da sua “vida” do passado e da sua relação com o local;
- b) Obter desenhos antigos, gerais ou de pormenores;
- c) Levantamentos técnicos – materiais e processos construtivos utilizados;
- d) Levantamentos arquitectónicos – plantas, alçados, cortes e pormenores;
- e) Levantamentos topográficos;
- f) Levantamentos geotécnicos.

Nesta fase, a ideia é efectuar um estudo do edifício no seu geral e da sua envolvente. Por isso mesmo, a obtenção de desenhos antigos ou a pesquisa bibliográfica sobre a história do edifício são fundamentais. É também nesta fase que se faz uma espécie de ficha informativa sobre o edifício, com dados importantes que possam influenciar o estudo do mesmo. Essa ficha deverá conter alguns dados, de que são exemplo os seguintes:

- Nome do edifício;
- Data de construção;
- Principais materiais utilizados e sua qualidade;
- Sistemas construtivos importantes;
- Dimensões das peças de relevo ao estudo;
- Ocupações e usos ao longo do tempo no edifício;
- Tipos de degradação mais visíveis e quais as suas causas prováveis;
- Reparações anteriores;
- Incêndios ou outro tipo de acontecimentos importantes;
- Tipo de terreno;
- Geometria dos espaços;
- Identificação dos principais pontos críticos;
- Águas pluviais e freáticas;
- Confrontações com edifícios vizinhos.

Depois de realizado o levantamento de dados, encontram-se reunidas as condições para um estudo mais aprofundado de características ou problemas mais específicos existentes no edifício.

### **3.3 INSPECÇÃO**

Numa edificação, por vezes, a sua vida útil é encurtada devido a variados factores, como sejam os defeitos de projecto e/ou problemas construtivos, que provocam ou alastram o aparecimento de anomalias ou ataques biológicos.

A inspecção visual é um método usual de inspecção e diagnóstico para estruturas de madeira, dado que é possível examinar as peças em estudo através do contacto directo com elas mesmas, ou a sua observação a uma distância pequena. Esta visualização (coadjuvada com instrumentos de análise) permite, por isso, a detecção e o registo de todas as anomalias, defeitos, e ataques existentes nas peças.

A primeira fase de inspecção de uma estrutura de madeira consiste na avaliação preliminar de toda a estrutura em causa, sem entrar em pormenores para os diversos elementos, e em propor intervenções e recuperações urgentes. Nesta fase, é normalmente elaborado um plano de inspecção mais aprofundado, e são detectadas as principais fontes de degradação dos elementos e os principais pontos críticos.

A segunda fase consiste numa avaliação mais pormenorizada dos elementos e suas anomalias, com a consequente informação sobre as suas capacidades de resistência e medidas correctivas necessárias. Juntamente com esta análise, é reunida toda a informação sobre eventuais alterações estruturais

anteriores ou danos, e feita a análise detalhada dos elementos e seu contributo na análise estrutural do edifício. Nesta fase são analisados, para cada caso, os agentes de degradação actuantes e seu estado de desenvolvimento, assim como o tipo de madeiras e sua qualidade.

As estruturas em madeira e os seus diversos elementos estão sujeitos a várias acções em serviço. Para avaliar a secção resistente e as características mecânicas e tecnológicas dos variados elementos são necessários alguns métodos e critérios específicos, que permitirão aos técnicos envolvidos na reabilitação estrutural obter dados que os apoiarão na verificação de segurança final da estrutura e os ajudará a decidir sobre eventuais soluções de conservação e reforço.

As avaliações do estado de degradação dos elementos em madeira são efectuadas em todo o tipo de edifícios, nomeadamente nos edifícios antigos e nos artísticos. Nestes últimos, surgem problemas relacionados com a necessidade de não danificar os elementos ou suas decorações que, a juntar com possíveis intervenções no passado, fazem surgir dificuldades na avaliação de patologias.

Na verificação da segurança de elementos estruturais deverá ser considerado o teor em água actual e conjecturado para o futuro nas condições previstas de funcionamento (através de um humidímetro). Para além disso, a contabilização da secção residual dos elementos degradados, a adopção de valores de tensão adequados à espécie lenhosa em causa e à qualidade da madeira (nomeadamente os nós, inclinação do fio e o seu teor de água) são essenciais para a verificação da segurança, e um passo importante na realização de uma inspecção.

Para a realização de uma inspecção a um edifício é necessário garantir alguns aspectos para que esta seja realizada de um modo mais correcto. Seguem-se alguns desses pontos:

. Iluminação – Por vezes, em edifícios antigos, a luz natural é insuficiente para a perfeita visualização dos elementos degradados. Assim, torna-se necessária a utilização de focos de luz artificiais e/ou lanternas para aumento do campo de visualização do operador;

. Acesso à estrutura – Para que se possa proceder a uma inspecção detalhada das estruturas de madeira é útil não haver impedimentos, tanto naturais como artificiais. Por vezes, são implementados andaimes, cestos ou máquinas elevatórias, de forma a facilitar a execução de ensaios, a observação ou até mesmo o contacto físico com o elemento. No caso dos pavimentos estruturais em madeira é usual haver impedimentos naturais, como sejam a visualização das faces superiores das vigas ou as suas extremidades quando inseridas nas paredes.

. Limpeza das superfícies de madeira – Em edifícios antigos é normal haver bastante sujidade, detritos animais ou vegetais e outros que poderão cobrir alguns elementos. Para que se possa proceder a uma inspecção, é necessário efectuar a limpeza desses elementos de forma manual ou então acompanhada de um aspirador industrial. Esta limpeza deve permitir examinar a superfície da madeira, observar os seus nós, fendas, cor, etc.

. Elementos gráficos, topográficos e desenhos – De forma a facilitar a realização da inspecção dos elementos, nomeadamente das suas vertentes qualitativas e geométricas, é ideal obter previamente um bom levantamento estrutural/geométrico do edifício.

Nesta fase são analisadas as características dos elementos estruturais dos pavimentos, tais como as suas dimensões, procurar a existência ou não de tarugamento e qual o seu funcionamento, verificar condições de apoio das vigas nas paredes, etc. Sendo assim, o processo de inspecção, referente aos pavimentos estruturais em madeira, consiste no cumprimento de três pontos fulcrais, embora estes variem de edifício para edifício. São eles a detecção de anomalias, identificação da espécie lenhosa e o reconhecimento dos pontos críticos comuns em pavimentos.

### 3.3.1 DETECÇÃO DE ANOMALIAS

Neste ponto, o essencial é a observação visual dos elementos de madeira, e a detecção da possível existência de sinais de degradação, tais como presença de serrim, mudanças de coloração, presença de bolores ou fungos, fendas, orifícios de saída de insectos, presença de podridão ou insectos xilófagos, desagregação ou destacamento dos materiais de revestimento, manchas de humidade, assentamentos, etc.

De forma a auxiliar esta inspecção visual são utilizados muitas vezes alguns equipamentos não destrutivos. Uma forma de proceder a uma primeira avaliação de problemas num elemento de madeira consiste em usar um martelo e em ouvir o som emitido durante a percussão: se este for oco, é porque existem problemas. Outros equipamentos não destrutivos são largamente usados hoje em dia, tais como: - lupas; - espelhos; - transmissor de ultra-sons; - indutor de vibrações; - perfurador mecânico (resistógrafo); - transmissor de raios X e gamma; - emissor acústico; - medidores de humidade; - esclerómetros; - endoscópio; - extensómetros; - transmissor de microondas; - etc.

Outra forma de proceder à inspecção de elementos consiste na recolha de amostras para posterior análise e realização de ensaios em laboratório. Normalmente este tipo de ensaios são efectuados para análise de várias características das madeiras, como sejam: - índice de porosidade; - grau de humidade; - medição do coeficiente de dilatação térmica; - resistência à compressão, flexão e tracção; - módulo de elasticidade; - densidade; - dureza; - etc.

### 3.3.2 IDENTIFICAÇÃO DE ESPÉCIE LENHOSA

De forma a identificar características, comportamentos ou decidir sobre eventuais processos ou produtos de preservação sobre elementos de madeira, é necessário identificar previamente a espécie lenhosa a que estes pertencem. Normalmente, as diferentes espécies lenhosas são utilizadas consoante o tipo de esforços a que a peça estará sujeita. Assim, por exemplo, em edifícios antigos, é comum o uso de madeiras como o Castanho, o Carvalho ou o Olmo em peças que estão essencialmente à compressão (devido à sua elevada massa volúmica), ou então o uso de madeiras como o Abeto, que tem menor resistência e massa volúmica, para elementos menos exigentes. De qualquer forma, a identificação da espécie lenhosa poderá tornar-se numa tarefa complexa, exigindo um conhecimento aprofundado em técnicas de reconhecimento macroscópico e por vezes microscópico, para além de um bom conhecimento anatómico da madeira.

### 3.3.3 PONTOS CRÍTICOS EM PAVIMENTOS

Os pavimentos estruturais em madeira são, juntamente com as peças da cobertura, zonas com possibilidade de degradação alta. Este facto deve-se, essencialmente, à elevada exposição dos pavimentos a cargas elevadas, presença de humidade, defeitos de apoio nas paredes, ligações de elementos mal elaboradas, etc.

A presença de humidade é um dos factores de degradação dos pavimentos mais importantes, caracterizando-se essencialmente por provocar processos de podridão. Normalmente o seu ataque é efectuado nos nós de ligação entre elementos, dado que a água percorre normalmente as vigas, e quando encontra cavidades ou porosidades deposita-se, fazendo assim deste, sem dúvida, um ponto sensível de armazenamento de água. Outros dos pontos sensíveis para o depósito de água são as zonas de apoio dos pavimentos nas paredes estruturais. É frequente verificar a existência de fungos de podridão em zonas de apoio, devido ao armazenamento de água nesses pontos. Facto relevante para o



aparecimento de humidade nos elementos dos pavimentos é a sua proximidade com zonas ricas em humidade. De facto, por vezes, os pavimentos dos pisos térreos têm de ser cuidados e protegidos contra a humidade devido à proximidade com o solo, que é frequentemente um grande foco de humidade, e ser assegurada uma boa ventilação entre pavimento e solo. Outro foco de humidade importante é a proximidade do pavimento com zonas de casa de banho e/ou tubagens de saneamento e de abastecimento de água, sendo necessário estabelecer delimitadores entre os elementos e zonas estanque para possíveis fugas de água para o pavimento.

A ausência de água nos pavimentos não significa o seu bom estado. Aliás, em edifícios antigos é frequente encontrar zonas bastante extensas de madeira seca, mas a qual continua exposta a outros tipos de degradação. O mais comum ataque neste tipo de condições é o ataque de caruncho, visualizando-se assim buracos nos elementos correspondentes às extremidades das galerias criadas pelos insectos.

Um dos grandes problemas nos pavimentos e nas estruturas de madeira em geral é a falta de ventilação dos elementos. De facto, a inexistência de ventilação provoca um grande acumular de condensações nos elementos e dificulta a sua secagem. Quando esta condensação atinge valores elevados, ficam criadas as condições de desenvolvimento de patologias, nomeadamente as de origem biológica.

Outro dos pontos críticos dos pavimentos estruturais em madeira são as secções de meio vão. Neste ponto são frequentemente visíveis grandes deformações da estrutura e fissurações ou empenos das tábuas de pavimento. Este facto poderá indicar ao operador que o pavimento está ou esteve sujeito a cargas elevadas durante algum tempo ou então que, devido a patologias nos elementos estruturais do pavimento, este se deformou em demasia.

Por vezes, as tábuas constituintes do pavimento encontram-se em mau estado, apesar da estrutura do pavimento estar em boas condições. Normalmente, este facto é detectado através da presença de pequenos “vulcões” de serrim, quando se trata de ataque de insectos, ou então manchas de podridão, quando foram atacadas por humidade.

### **3.4 DIAGNÓSTICO**

O processo de diagnóstico dos elementos de madeira deverá ser realizado durante o processo de inspecção e nas suas diferentes fases, ou seja, na fase preliminar de inspecção e na fase em que já é possível o acesso aos elementos previamente ocultos. Este processo tem como objectivos principais a avaliação detalhada do estado de degradação dos materiais, soluções construtivas e sua comprovação, após acesso a todos os elementos ocultos ou nos quais foram feitas avaliações deficientes/insuficientes.

Diagnosticar consiste num complemento à inspecção, ou seja, identificada a anomalia, interessa determinar qual a sua origem. Esta acção permite a identificação das causas que estiveram na origem do problema e pretende prever, com alguma segurança, quais as consequências futuras. Para efectuar um diagnóstico é quase sempre necessário utilizar recursos para além da simples observação, nomeadamente o recurso a tecnologia, que ajuda a conhecer com maior rigor os problemas existentes e a definir tratamentos adequados com base científica. Por outro lado, a informação obtida pelo diagnóstico é quantificável, ou seja, permite um auxílio na tomada de decisões em projectos de reabilitação ou reparação, para obtenção da durabilidade dos materiais, assim como a segurança estrutural.

A realização de um diagnóstico de uma estrutura de madeira consiste no cumprimento de variados pontos, entre eles:

- a avaliação das características físicas da madeira (espécie lenhosa, geometria do elemento, anomalias de origem, etc.);
- as patologias existentes (devido a agentes biológicos, por exemplo);
- a determinação da secção residual do elemento;
- a determinação de características físico-mecânicas relevantes (densidade, teor de água, módulo de elasticidade, etc.);
- a localização das zonas atacadas e respectivas origens dessas patologias;
- a realização de ensaios, sobretudo recorrendo a técnicas não destrutiva.

Após a realização do diagnóstico, importa estimar a extensão da zona afectada para assim avaliar o nível do dano e poder definir medidas correctivas a adoptar. Por vezes, neste processo, são utilizados equipamentos mais sofisticados que permitam avaliar possíveis danos ocultos (em partes não visíveis ou inacessíveis) e que permitam determinar as características físico-mecânicas dos elementos de madeira (essencialmente a resistência e deformabilidade do elemento).

### **3.5 TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA**

Durante o processo de inspecção e diagnóstico a um edifício antigo, o desejável é obter dados conclusivos sobre o estado dos seus elementos e danificar o menos possível, tanto os elementos como as estruturas, nas quais eles estão inseridos. Assim, é necessário proceder à avaliação dos elementos, nomeadamente das suas características mecânicas e estado de conservação, sempre que possível sem recorrer ao seu desmantelamento. Neste sentido, de forma a não destruir as estruturas e os elementos a elas pertencentes, interessa proceder à realização de ensaios *in situ* e de natureza não destrutiva.

As técnicas tradicionais de identificação e avaliação de elementos em madeira (como a classificação visual, determinação do teor de água, utilização de martelos e lâminas metálicas) têm vindo a ser substituídas por novos métodos de inspecção, que permitem um estudo mais aprofundado na avaliação da capacidade resistente dos elementos.

O uso das técnicas tradicionais por parte da maioria dos agentes da construção faz com que estes optem quase sempre por substituições ou reforços desajustados de estruturas de madeira, sem de facto perceberem a realidade dos elementos e sua potencialidades em termos de resistência estrutural. Assim, a compreensão e acima de tudo o conhecimento de novas técnicas de avaliação de elementos, vai permitir aos projectistas e a todos os outros intervenientes na reabilitação de edifícios tomar decisões baseadas em informação experimentalmente apoiada.

Deve ser realçado, no entanto, que por vezes o estudo mais aprofundado de elementos em madeira requer a realização não só de ensaios não destrutivos. Para que a eficácia dos ensaios e processos de diagnóstico aumente, surge a necessidade de usar conjuntamente ensaios laboratoriais destrutivos, e assim assegurar o estudo aprofundado das características mecânicas e sua variabilidade nos elementos de madeira.

Antes de proceder à avaliação das características dos elementos de madeira, por vezes (principalmente em edifícios históricos) é usual proceder à datação da madeira.

### 3.6 DATAÇÃO DA MADEIRA

Nos edifícios históricos de alguma importância é necessário proceder à datação dos elementos de madeira, de forma a perceber a evolução que a estrutura sofreu ao longo do tempo. Os processos mais utilizados são o da dendrocronologia e o da datação por radiocarbono. O último baseia-se na determinação da taxa de carbono radioactivo existente na madeira, enquanto que o primeiro se baseia na comparação de anéis de crescimento da árvore com padrões de crescimento conhecidos.

#### 3.6.1 DENDOCRONOLOGIA

A dendrocronologia é uma ciência que trata de datar uma determinada peça de madeira através do estudo do seu padrão de crescimento, mostrado pelos anéis anuais, e comparando-o com a média cronológica das árvores numa região, atribuindo a cada ano um índice compreendido entre 0 e 1. A partir desse estudo é possível estabelecer uma curva dendrocronológica de uma árvore, que consiste na representação em ordenadas da espessura dos anéis e em abcissa pelo ano correspondente, permitindo assim a contabilização dos anos remotos até à fase inicial de crescimento.

Como é sabido, a velocidade de crescimento das árvores depende muito das condições climáticas em que esta se desenvolve e, assim sendo, o crescimento durante o Verão é, normalmente, diferente do de Inverno. Para além dessa diferença de crescimento durante o ano, existem ainda diferenças de crescimento em anos consecutivos. Se existir um ano quente e húmido, o crescimento da árvore será bem maior do que o verificado num ano frio e seco. Assim sendo, um anel de crescimento delgado evidencia a presença de um ano frio, enquanto que um anel espesso nos indica a presença de um ano quente. Este facto, aliado à diferença de condições meteorológicas de ano para ano, faz com que haja uma enorme irregularidade de anéis nas árvores.

Este é um método que exige obter primariamente madeira antiga e sobrepor a sua curva dendrocronológica a outras já existentes. Para que o método seja razoavelmente fiável é necessário que a peça de madeira possua pelo menos 40 anéis e que esses anéis possam ser comparados com curvas dendrocronológicas da região.

#### 3.6.2 DATAÇÃO POR RADIOCARBONO

A datação por radiocarbono é um método que permite avaliar madeiras com mais de 200 ou 300 anos e obter a data de abate da árvore, que pode não coincidir, claro está, com a data de aplicação no edifício. É um método relativamente recente, que se tornou uma realidade graças aos desenvolvimentos da física atómica na segunda metade do século XX.

O radiocarbono é usualmente designado por Carbono 14 ou C-14. Trata-se de uma forma instável de carbono existente na natureza, tal como o C-13 e o C-12. O C-14 não é estável, é um isótopo, e existe na proporção de 1 para  $10^{16}$  na natureza. Nas árvores, o carbono existe derivado do carbono atmosférico que é admitido pela árvore através do processo de fotossíntese. Após o abate da árvore, o C-14 vai emitindo electrões e recebendo protões com o azoto, assim permitindo a diminuição gradual da sua presença no elemento a uma taxa constante (redução a metade em 5568 anos). Este facto permite uma datação da madeira comparando a quantidade de C-14 presente no elemento e a quantidade normalizada. Assim sendo, a utilização deste método exige que a madeira não esteja contaminada, por exemplo, com fungos, dado que estes podem alterar as percentagens dos valores de C-14 no elemento.

### 3.7 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Na reabilitação do património edificado é prática usual a optimização de recursos, facto que permite o desenvolvimento de metodologias e de equipamentos que permitam a avaliação de elementos de madeira de forma não destrutiva. Estes meios usados em complemento da inspecção visual e de outras metodologias tradicionais permitem assim uma avaliação mais pormenorizada dos elementos e uma tomada de decisão sobre eventuais intervenções mais acertada.

Estes são meios de apoio à decisão que hoje em dia são cada vez mais usados na avaliação de madeiras em edifícios antigos. São normalmente aglomerados em dois grandes grupos, o dos métodos globais de ensaio e o dos métodos locais de ensaio. Os primeiros incluem normalmente ensaios que usam propagação de ondas, e os segundos auxiliam mais localmente a inspecção visual.

A seguir encontram-se descritos alguns dos ensaios não destrutivos mais utilizados nos dias de hoje pelos técnicos da área.

#### 3.7.1 RESISTÓGRAFO

O resistógrafo é um aparelho portátil inventado na Alemanha em 1985, que contém uma broca de 1,5 mm de diâmetro e 3 mm de ponta que funciona como perfurador mecânico a velocidade constante. A perfuração obtida com este aparelho tem 3 mm de diâmetro na direcção radial da peça e avalia a resistência que esta oferece à perfuração. A potência ou necessidade de energia por parte do resistógrafo para efectuar a perfuração permite determinar a resistência do elemento de madeira, que está certamente relacionada com a densidade dos variados anéis de crescimento da madeira.

O Resistógrafo efectua medições radiais e tangenciais em relação ao tronco da árvore que deu origem à peça. Como normalmente a secção transversal das estruturas em serviço de edifícios antigos se encontra oculta, deve considerar-se valores médios. Sabe-se que os valores fornecidos pelo resistógrafo referentes aos valores radiais e tangenciais são muito parecidos.



Fig. 3.1 – Utilização de Resistógrafo em estrutura (à esquerda, Tampone;2002) e bateria e impressora portátil (à direita, Júnior;2006).

Os resultados do ensaio com recurso ao resistógrafo são apresentados em gráficos, que têm como eixo das abcissas a profundidade de penetração alcançada pelo resistógrafo, e no eixo das ordenadas está a resistência à penetração/energia dispendida (de 0 a 100 %). A área abaixo da curva representa o índice de avaliação da densidade. Para além disso, os valores que o resistógrafo fornece permitem determinar características mecânicas, tais como o módulo de elasticidade na direcção do fio ou o módulo de rotura na direcção do fio, através de correlações numéricas.

É um ensaio com bastante utilidade em estruturas que estão em serviço, dado que as suas perfurações são de pequena dimensão e, assim, quase imperceptíveis e sem qualquer influência na resistência mecânica da peça. Assim, facilmente se detecta possíveis perdas de densidade devido a podridões, ataques de insectos ou vazios.

A tabela 3.1 evidencia quais as vantagens e as desvantagens do uso do resistógrafo

Tabela 3.1 – Vantagens e desvantagens do uso do resistógrafo.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilidade de se detectar anomalias no elemento (tais como podridões, vazios, defeitos, etc.) não visíveis durante a inspecção visual;</li> <li>- Facilidade de operação;</li> <li>- Dados fornecidos no gráfico importantes para determinar algumas das mais importantes características mecânicas da madeira;</li> <li>- Possibilidade de estimar o estado de elementos aos quais não é possível aceder na sua totalidade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificuldade em estimar de forma concreta algumas das possíveis anomalias detectadas, nomeadamente quando se pretende valores concretos;</li> <li>- Ensaio que exige bastante dispêndio de tempo no tratamento estatístico dos dados;</li> <li>- Necessidade de conhecimento aprofundado das características físico-mecânicas da madeira (saber identificar anéis de crescimento, diferença de medições em diferentes direcções, identificar defeitos, etc.).</li> </ul>

### 3.7.2 MÉTODOS DE VIBRAÇÕES INDUZIDAS

O método das vibrações induzidas consiste no estudo da velocidade de propagação do som pelo elemento em madeira. Este som é provocado pela vibração induzida no elemento por um martelo de impacto, que também poderá ser electrónico ou de impulsos. O funcionamento básico consiste na formação de uma onda de compressão no material, provocada pela pancada do martelo, calculando-se de seguida a velocidade de propagação da onda, através da medição do tempo que ela demora a percorrer a distância entre dois transdutores colocados a uma determinada distância. Antes da realização do ensaio, é necessário preceder à determinação da densidade da madeira em causa, para que assim se possa determinar o módulo de elasticidade dinâmico que, por sua vez, se encontra relacionado com o módulo de elasticidade estático.



Fig. 3.2 – Aparelhos para vibração induzida. À esquerda martelo de impacto e à direita medidor de velocidades de propagação de ondas.

A variabilidade das propriedades da madeira assim como factores externos como a humidade e a temperatura, poderão fazer variar a velocidade de propagação das ondas de forma pouco controlável. No entanto, a utilização do modelo considerando a madeira um material homogéneo costuma resultar em bons resultados. As madeiras degradadas costumam apresentar velocidades de propagação mais baixas que a madeira sã, podendo por isso a detecção de anomalias entre diferentes elementos poder ser feita através da simples comparação de velocidades de propagação de cada um deles.

Tal como qualquer outro método, a utilização das vibrações induzidas tem vantagens e desvantagens. Encontram-se discriminados quais as principais na tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Vantagens e desvantagens do uso de vibrações induzidas.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil utilização;</li> <li>- Possibilidade de obtenção de um perfil longitudinal ou transversal da peça, detectando possíveis anomalias que não seriam detectadas à simples inspeção visual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vários valores obtidos, consoante a orientação das fibras;</li> <li>- Por vezes de difícil aplicação <i>in situ</i>. Leituras longitudinais por vezes impossíveis de fazer dado que algumas peças (nomeadamente o seu topo) poderão estar inacessíveis.</li> </ul>

### 3.7.3 HIGRÓMETRO

Este é um ensaio que permite a percepção do teor de água do elemento de madeira. A partir dele é possível identificar qual o risco de ataque de agentes patológicos bióticos. A sua utilização é realizada na prevenção de ataques, nomeadamente na detecção de possíveis focos de entrada de humidade ou de acumulação de água, assim como o grau de humidade de zonas anteriormente atacadas.

De acordo com as normas actuais, designadamente no EC5, o possível ataque de fungos é mais alto para teores de humidade da madeira acima dos 20%, sendo este valor reduzido para 18% no caso de madeiras que já tenham sido atacadas anteriormente.



Fig. 3.3 – Alguns tipos de higrómetros existentes no mercado.

A partir do conhecimento do teor de água do elemento é possível então proceder à correlação deste parâmetro com o grau de degradação do elemento e das suas características resistentes. Na tabela 3.3 são então relatadas algumas das vantagens e desvantagens deste método.

Tabela 3.3 – Vantagens e desvantagens do uso de higrómetros.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obtenção exacta do teor de água da peça;</li> <li>- Permite a identificação das zonas críticas de presença de água;</li> <li>- Permite confirmar a falta de ventilação de determinada zona;</li> <li>- Permite antever possíveis ataques biológicos e assim proceder à sua correcção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Por vezes os valores do teor de água da peça estão incorrectos, principalmente quando se desconhece o produto preservador anteriormente usado no elemento;</li> <li>- Permite apenas a inspecção local da madeira não dando por isso informação relevante geral da estrutura.</li> </ul>

#### 3.7.4 ULTRA-SONS

Este é um dos métodos mais utilizados na análise das características da madeira e na fase de diagnóstico de elementos. Através deste método é possível a determinação do módulo de elasticidade dinâmico e através dele correlacioná-lo com outras grandezas, com a simples medição da velocidade de propagação de ondas acústicas pelo elemento.

Os ultra-sons são ondas acústicas de alta-frequência, sendo que as utilizadas nas madeiras variem entre os 20 e os 500 kHz. Através da velocidade e do coeficiente de atenuação acústicos é possível determinar a resistência da madeira, enquanto que o tempo percorrido entre dois transdutores deverá ser usado para detectar possíveis defeitos na peça.

O método da propagação de ondas sonoras poderá ser realizado através de diferentes abordagens:

##### i) Método dos ecos

Método pouco utilizado dado que se considera que a madeira é um material heterogéneo e que esta provoca uma grande dispersão das ondas sonoras. Trata-se de um método que se baseia na reflexão de ondas acústicas em elementos e a partir delas se estima, de forma indirecta o estado do material analisado. Neste método apenas um transdutor é utilizado, servindo de emissor e receptor ao mesmo tempo, fazendo com que apenas o sinal reflectido sobre a superfície ou descontinuidade seja medido.

##### ii) Método de ressonância

Neste método é utilizado um emissor electrodinâmico de oscilação que com a sua acção provoca um aumento brusco da amplitude de oscilação do elemento de madeira, devido ao fenómeno de ressonância. Este método baseia-se na frequência fundamental de vibração de um elemento e é através da sua frequência de ressonância, tal como as dimensões e densidade da peça, que se obtém o seu módulo de elasticidade. Dado ser um método que exige bastante material auxiliar, raramente é utilizado.

##### iii) Método da transmissão

Este método consiste na propagação de ondas ultra-sónicas com uma frequência mais baixa que no método dos ecos, e por isso mesmo, mais adequado na avaliação de materiais heterogéneos como a madeira. O método requer a utilização de dois transdutores piezoeléctricos de cada lado da peça em

estudo e um gerador emissor de sinais através do transdutor. A ligação entre o transdutor e o elemento deverá estar bem realizada dado que o ar é um mau transmissor de ondas ultra-sónicas.

A avaliação da velocidade de propagação das ondas é severamente afectada por vários factores como o teor de água e a direcção da emissão das ondas em relação às fibras da madeira, aumentando a velocidade de propagação das ondas com o aumento do teor de água e diminuindo quando se trata de direcções perpendiculares às fibras. A presença de fio cruzado, nós ou podridões faz diminuir a velocidade de propagação das ondas. Na tabela seguinte estão descritas as principais vantagens e desvantagens deste método.

Tabela 3.4 – Vantagens e desvantagens do uso de ultrasons.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilidade de obter um perfil das propriedades mecânicas do elemento ao longo do seu comprimento;</li> <li>- Bom estimador do módulo de elasticidade;</li> <li>- Eficaz na detecção de defeitos nos elementos;</li> <li>- Facilidade de uso;</li> <li>- Apenas é necessário ter acesso a uma das faces dos elementos, por isso mesmo, ideal para inspecções <i>in situ</i>;</li> <li>- Custo reduzido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necessária grande precisão no ensaio, nomeadamente na garantia de proceder nas mesmas condições em todos os elementos (por exemplo na colocação das sondas em contacto com a madeira);</li> <li>- Método pouco adequado para determinação do módulo de rotura dado ser muito influenciado por possíveis defeitos existentes na madeira;</li> <li>- É necessário saber qual a espécie lenhosa em causa e respectiva densidade do elemento a ensaiar.</li> </ul>

### 3.7.5 ENSAIOS DE CARGA

São usados ensaios de carga quando se pretende determinar a deformabilidade e respectiva capacidade resistente dos pavimentos *in situ*. Estes ensaios só fazem sentido como não destrutivos, ou seja, quando não se ultrapassa a capacidade elástica dos elementos em causa, não provocando assim a inutilização do pavimento.

É um método pouco utilizado devido aos inúmeros meios necessários à sua realização. Quando realizado, é um método que permite a aplicação de cargas crescentes e ciclos de carga-descarga realizando, ao mesmo tempo, leituras da deformação do pavimento.

### 3.7.6 RAIOS X E RAIOS GAMMA

Este método é um dos mais antigos utilizados para a avaliação do estado de elementos de madeira. Datam de 1895 as primeiras abordagens aos raios X, embora a sua utilização na avaliação de madeiras apenas seja conhecida desde os anos 60. Baseia-se na transmissão de energia radiográfica sob a forma de raios X, obtendo assim uma imagem da constituição do elemento. É possível descobrir possíveis ataques biológicos, existência de fendas ou outras patologias sob a forma de registos radiográficos bidimensionais, apenas estando dependente da massa volúmica e da espessura da peça. Devido ao seu custo elevado e também à perigosidade deste tipo de radiação, é actualmente um método em desuso.



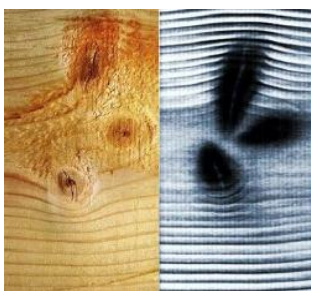


Fig. 3.4 – Imagem de raio X de uma tábu de pavimento em madeira.

Hoje em dia a utilização de raios gamma é mais usual dado que, para além de um menor custo, tem uma menor perigosidade que os raios X. É também preferível aos raios X dado que transmitem uma imagem na hora, ou seja funcionam como uma câmara.

Tabela 3.5 – Vantagens e desvantagens do uso de raios X e/ou Gamma.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilidade de detectar facilmente anomalias nos elementos de madeira, tais como, vazios, descontinuidades e outro tipo de descontinuidades;</li> <li>- Informação sobre a peça detalhada, com excelente precisão visual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difícil transporte do material, tornando a sua utilização em obra bastante complicada;</li> <li>- Custo elevado;</li> <li>- Perigosidade na sua utilização.</li> </ul>

### 3.7.7 PYLODIN – MÉTODO DA DENSIDADE SUPERFICIAL

Este método consiste na utilização de um cilindro metálico (usualmente denominado por Pylodin) que contém no seu interior uma barra metálica circular de 2,5mm, que é introduzida na madeira por impacto. Através da medição da profundidade de penetração desta barra, que no limite poderá chegar até aos 40mm, é possível estabelecer relações com a dureza da madeira na direcção transversal e também com a sua densidade.

É utilizado, normalmente, na detecção de vários tipos de defeitos e na determinação prévia do aparecimento de doenças quando a sua utilização é efectuada durante um determinado período de estudo através da realização de vários ensaios e na comparação de resultados com valores previamente estabelecidos como padrão para as diferentes espécies. Como consiste numa penetração superficial, este método não permite detectar possíveis patologias no interior do elemento.



Fig. 3.5 – Aparelho Pylodin.

O uso desta técnica é discutível devido à elevada incerteza na relação com grandezas como a resistência da madeira e também porque existem métodos tradicionais que podem providenciar valores e resultados bastante aceitáveis.

Tabela 3.6 – Vantagens e desvantagens do uso do aparelho Pylodin.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil utilização;</li> <li>- Permite estimar o estado de conservação superficial assim como a secção residual de peças de madeira.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não permite uma correlação correcta com as resistências das madeiras;</li> <li>- Não é sensível a degradações ou anomalias interiores, apenas permite caracterizar o estado superficial da peça;</li> <li>- Pode ser substituído por técnicas tradicionais.</li> </ul>

### 3.7.8 GEORRADAR

A base de funcionamento deste método está na análise da propagação de ondas electromagnéticas, em bandas de frequência entre os 100 MHz e 1,5 GHz, emitidas por impulsos de curta duração, e captadas por antenas. Durante a propagação das ondas, estas provocam fenómenos de reflexão, refacção e difracção, devido à heterogeneidade. Quando as ondas atravessam os elementos, detectam alterações das propriedades magnéticas dos diferentes meios e transmitem essa informação às antenas receptoras, que captam as diferenças de energia electromagnética.



Fig. 3.6 – Unidade central e antena de um georradar.

Os resultados do método são traduzidos através de um perfil de variação vertical das ondas electromagnéticas, normalmente denominado por radargrama. Estas variações estão dependentes de factores como a temperatura, dureza, densidade e teor em água, sendo este último parâmetro de maior relevância para a interpretação dos resultados fornecidos por este método. Assim, é facilmente detectada a presença de focos de humidade ou de degradação numa peça, dado que os valores da constante dieléctrica ou da velocidade são muito superiores aos valores conhecidos da madeira.

Tabela 3.7 – Vantagens e desvantagens do uso de georradar.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconstrução tridimensional das características electromagnéticas do elemento de madeira;</li> <li>- Informação muito precisa;</li> <li>- Possibilidade de detecção de diferentes anomalias e em diferentes tipos de estruturas;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevada sensibilidade à humidade;</li> <li>- Tratamento moroso e difícil de dados;</li> <li>- Permite conclusões certas em termos qualitativos mas não revela conclusões em termos numéricos, sendo por isso necessário complementar com outros ensaios.</li> </ul>

### 3.7.9 DETECÇÃO ACÚSTICA DE INSECTOS XILÓFAGOS

Este método consiste na detecção acústica da presença de insectos xilófagos (carunchos e térmitas). Para isso, são utilizados detectores acústicos para gamas de frequência entre 100 e 25000 Hz que, por sua vez, transmitem o sinal a um módulo de recepção amplificado e filtrado, que limita essas frequências a um intervalo entre 1 kHz e os 20 KHz. O sinal é posteriormente digitalizado e pode ser comparado com outros sinais padrão obtidos em situações controladas. O sistema detecta insectos xilófagos durante a sua actividade até distâncias de 2 metros na peça e permite, dependendo do modelo do aparelho, definir a intensidade do ataque e distingui-lo com a acção de outros seres vivos, como por exemplo, os roedores.



Fig. 3.7 – Aparelhos para detecção acústica de insectos xilófagos.

É assim, um método bastante útil para a inspecção de elementos em madeira in situ, permitindo uma fácil detecção da presença de zonas atacadas por insectos ou de controlo sobre tratamentos efectuados.

Tabela 3.8 – Vantagens e desvantagens do uso de aparelhos acústicos.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilidade de utilização;</li> <li>- Permite detectar ataques de insectos xilófagos e respectiva extensão do ataque que por vezes não é visível durante a inspecção visual;</li> <li>- Bastante eficaz na monitorização de tratamentos efectuados no elemento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não permite estabelecer qualquer tipo de correlação com o valor da resistência da madeira. É um mero instrumento de detecção de ataques biológicos por insectos xilófagos.</li> </ul>

### 3.7.10 MICROONDAS

A utilização deste método de inspecção baseia-se na determinação das propriedades dieléctricas da madeira e requer um conhecimento prévio do comportamento do material em campos eléctricos e magnéticos. O uso de microondas é normalmente utilizado na detecção de anomalias de origem dos elementos em causa, tais como, a detecção de nós, descontinuidades, irregularidades do fio e podem também ser usadas para controlar o endurecimento de colas ou de produtos preservadores.

Tabela 3.9 – Vantagens e desvantagens do uso de microondas.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não existência de contacto entre o objecto o instrumento, e por isso mesmo, as análises serem realizadas sempre em condições idênticas;</li> <li>- Boa resolução das imagens obtidas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificuldades inerentes ao próprio material, como sejam a sua anisotropia, heterogeneidade e presença de defeitos.</li> </ul>

### 3.7.11 TERMOGRAFIA

Este método consiste na captação da energia infravermelha emitida por um objecto em madeira e na sua conversão em temperatura, mostrando assim uma imagem com a distribuição da temperatura no objecto. A temperatura superficial de um elemento em madeira está dependente da diferença de temperatura entre a madeira e o ar, da difusibilidade e condutibilidade térmicas da madeira e da sua densidade. A densidade da madeira sofre uma diminuição após ataques biológicos, devido à criação de vazios; assim sendo, a termografia permite a detecção deste tipo de ataques. Apesar disso, a termografia poderá também ser utilizada na detecção de anomalias de crescimento do elemento, principalmente na detecção de nós.



Fig. 3.8 – Exemplo de um termógrafo.

Tabela 3.10 – Vantagens e desvantagens do uso de termógrafos.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não existe contacto entre o aparelho e o objecto, fazendo com que as condições de aplicação em diferentes elementos se procedam em situações idênticas e possam ser comparadas;</li> <li>- Permite uma exacta localização dos defeitos do elemento em estudo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tratamento de dados bastante complexo;</li> <li>- Não permite uma correlação com valores numéricos respeitantes à resistência da madeira;</li> </ul>

### 3.8 CRITÉRIOS PARA A ESCOLHA DA TÉCNICA NÃO DESTRUTIVA

Como anteriormente visto, existem diversas técnicas utilizadas para análise de elementos de madeira, cada uma com as suas características assim como vantagens e desvantagens da sua utilização. Apesar de haver uma grande variedade de métodos, estes deverão ser sempre complementados com técnicas tradicionais de inspecção para assim obter um maior leque de informações, tanto quantitativas como qualitativas, e assim aumentar o grau de fiabilidade e de segurança numa inspecção.

No que diz respeito à estimação do grau de resistência da peça de madeira em causa, é necessário efectuar vários testes para depois realizar um estudo estatístico desses resultados e assim assegurar um valor com um grau de confiança aceitável. Nesse sentido, apresenta-se de seguida um quadro resumo das propostas de selecção de critérios de intervenção consoante o objectivo que se pretende (adaptado de Botelho, J., 2006).

Tabela 3.11 – Técnicas de inspecção de acordo com objectivo.

Objectivo	Método não destrutivo
Datação das madeiras	- Dendrocronologia; - Datação por radiocarbono;
Teor em água	- Higrómetro; - Georradar (indirectamente);
Classes de qualidade	- Ultra-sons; - Georradar; - Raios X; - Inspeção visual;
Identificação da espécie lenhosa	- Inspeção visual; - Análise laboratorial;
Identificação do tipo de ataque biológico	- Inspeção visual; - Detecção acústica;
Determinação do Módulo de Elasticidade	- Ultra-sons; - Resistógrafo; - Vibrações induzidas;
Determinação massa volúmica	- Resistógrafo; - Ultra-sons; - Resistógrafo;
Localização de defeitos de origem	- Raios X; - Vibrações induzidas; - Termografia; - Microondas;

---

	- Meios tradicionais;
	- Resistógrafo;
	- Raios X;
Detecção da extensão da degradação biológica	- Vibrações induzidas;
	- Georradar;
	- Ultra-sons;
	- Detecção acústica;
Determinação da densidade superficial	- Pylodin.

---

### 3.9 REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA EM EDIFÍCIOS ANTIGOS

#### 3.9.1 ASPECTOS GERAIS

A reabilitação de estruturas de madeira em edifícios antigos possui uma série de regras, às quais se deve obedecer quando se pretende intervir na sua melhoria. Estas regras são comuns a qualquer tipo de estrutura ou edifício, não havendo, por isso, uma metodologia exclusiva para os pavimentos estruturais em madeira. A seguir apresentam-se alguns pontos essenciais a respeitar no processo de reabilitação de edifícios antigos:

- a) Necessidade de criar uma equipa pluridisciplinar com vários especialistas envolvidos (como engenheiros, arquitectos, etc.);
- b) Existência de um projecto bem elaborado e com objectivos claros no que diz respeito à reabilitação do edifício;
- c) Definição de um custo o mais aproximado possível para os trabalhos de intervenção com base no estado actual do edifício;
- d) Máximo acompanhamento por parte dos especialistas durante a execução da obra, de forma a garantir a eficácia da aplicação do projecto e também o acompanhamento de possíveis alterações ou correcções, que ocorrem devido a falhas de diagnóstico;
- e) Elaborar sempre uma boa documentação de todas as intervenções realizadas para que, no futuro, se possa compreender e actuar, conhecendo melhor o caso;
- f) Definir plano para a manutenção do edifício durante a sua utilização;
- g) Definir um plano mais específico para manutenção de pontos críticos existentes nas estruturas do edifício;
- h) Existência de um coordenador geral que garanta o cumprimento de todos os pontos acima referidos.

#### 3.9.2 REGRAS PRINCIPAIS NA REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

Na reabilitação de estruturas de madeira devem ser asseguradas previamente as condições de segurança estrutural de pessoas e bens, assim como um melhoramento da funcionalidade da estrutura, tendo em conta questões não apenas exclusivamente estruturais. No entanto, devem ser seguidos alguns princípios básicos comuns à maioria dos edifícios, sendo de destacar (adaptado de Lopes, M.,2007):

- Proceder a uma identificação rigorosa da origem das anomalias;
- Perceber o funcionamento da estrutura;
- Quantificar a resistência dos variados elementos de madeira;
- Detectar pontos críticos da estrutura que necessitem de reforço ou substituição;
- Manter a estrutura com um coeficiente de segurança alto, ou seja, com esforços reduzidos;
- Eliminar as causas de degradação externas antes de proceder às acções internas de restauro;
- Adoptar soluções técnicas reversíveis (sempre que possível);
- Controlar vibrações, deformações e a fluência;
- Sempre que possível deixar os elementos degradados no local introduzindo apenas os novos elementos que assegurarão as funções resistentes;
- Impor medidas que impeçam a recorrência de problemas;
- Garantir uma boa identificação da intervenção no futuro através de documentação;
- Evitar mudar a forma de como os elementos funcionam em serviço em termos de tipo de esforço, nível de restrições ao deslocamento e de apoios;
- Evitar desmontar os elementos estruturais pois a remontagem provocaria estados de tensão diferentes;
- Verificar o estado de degradação dos elementos fronteiros aos que estão em estudo;
- Fazer inspecções periódicas, tanto durante a execução do projecto como na fase de serviço;
- Criar boas acessibilidades às estruturas para após a restauração poder ser efectuada uma monitorização em boas condições;
- Assegurar boas condições de ventilação e limpeza dos elementos durante a fase de serviço;
- Utilizar sempre que possível madeira da mesma espécie;
- Colocar elementos de madeira da mesma classe de serviço em termos ambientais;
- Tentar não esconder elementos estruturais com outros materiais de revestimento;
- Restaurar primeiro os elementos mais robustos e/ou os mais degradados;
- Respeitar o passado do edifício preservando, tanto quanto possível, os materiais existentes;
- Não utilizar soluções pouco conhecidas, apesar de serem inovadoras;
- Deixar boas indicações físicas da intervenção;
- Não disfarçar os elementos velhos ou os novos, permitir a sua fácil diferenciação;
- Usar sempre que possível sistemas de construção desmontáveis.

A decisão de proceder à reabilitação de um edifício é normalmente determinada por várias razões, entre elas, a necessidade de manter o património existente, segurança de bens e pessoas, ou então por razões económicas. Estes são, de facto, os factores mais importantes na tomada de decisão entre manter a estrutura existente, ou então substituir por uma nova.

No caso dos pavimentos estruturais em madeira, estes são de facto bastante abundantes em edifícios antigos do nosso país. Os elementos estruturais destes são os elementos mais comuns a apresentar

patologias e necessidade de intervenção. Assim, é comum proceder à reabilitação de pavimentos com objectivo de manter o máximo possível a sua estrutura, substituindo, reforçando e raramente eliminando os elementos constituintes do pavimento. Por vezes, no mesmo pavimento, é comum proceder-se aos três tipos de intervenção nas estruturas, de acordo com as necessidades locais de cada pavimento.

Para uma correcta actuação sobre uma estrutura de madeira degradada, é necessário que os indivíduos envolventes tenham um perfeito conhecimento das patologias possíveis e existentes no elemento, e também tenham uma clara experiência das técnicas de reabilitação actualmente utilizadas. Normalmente, um dos grandes problemas existentes nas estruturas de madeira nos edifícios, e uma das principais razões para a origem da maioria das patologias, é a ineficiente ventilação destas estruturas. Este facto faz com que os pavimentos tenham problemas de degradação biológica nos diferentes elementos constituintes, podendo mesmo alastrar-se aos apoios dos elementos estruturais. Se a degradação dos apoios não for demasiado extensa, é aconselhável utilizar próteses metálicas de apoio.

Na grande maioria das estruturas de pavimentos, é usual proceder a uma substituição directa dos elementos deteriorados. Esta é, de facto, a solução mais simples e mais lógica, mas é necessário ter atenção à mudança das cargas, devido ao facto dos elementos terem sido retirados. Por vezes, depois de se retirar os elementos, a distribuição de esforços modifica-se e, por isso mesmo, deve-se efectuar um novo cálculo estrutural e respectivo dimensionamento dos novos elementos a serem colocados no lugar dos anteriormente retirados. No entanto, esta continua a ser a solução mais simples e a mais económica a ser usada em recuperação de pavimentos.

Actualmente, na reabilitação de estruturas de madeira, é habitual haver uma promoção da reutilização de madeiras antigas devido a questões ecológicas e também económicas. Deve-se salientar, por exemplo, que variados elementos podem apresentar degradações e, mesmo assim, serem aproveitados através da simples remoção dessa parte afectada. Esta é uma técnica que deve prevalecer sobre a substituição integral dos elementos, na grande maioria dos casos.



# 4

## TIPIFICAÇÃO DE PROBLEMAS

### 4.1 INTRODUÇÃO E GENERALIDADES

O principal objectivo deste capítulo é condensar os principais problemas que um técnico poderá encontrar, quando este efectua um processo de inspecção e diagnóstico corrente a elementos de madeira, em edifícios antigos.

As anomalias das madeiras subdividem-se em dois grupos principais: as relativas ao material e as relativas à estrutura. As primeiras são normalmente referentes às anomalias de origem, ou seja, anomalias que acompanham a madeira desde a sua fase de crescimento, ou então que foram provocadas durante os processos de secagem ou laboração. Poderão ainda englobar, nestas anomalias relativas ao material, as patologias resultantes de ataques biológicos durante a sua fase de vida. Quanto às anomalias relativas ao uso estrutural, estas existem devido a vários factores, normalmente devido à intervenção humana. Exemplos disso são os sobrecarregamentos, mudança de uso, eliminação de apoios e degradação de ligações.

A existência de grandes deformações e de deteriorações são as marcas mais visíveis da existência de anomalias em elementos ou estruturas. Normalmente, as deformações excessivas devem-se a maus projectos e/ou à sua má execução, a sobrecargas para as quais os elementos não têm capacidade, ao desprezo pelo efeito da fluência, desconhecimento das características da madeira e da sua deformabilidade, aliados ao normal envelhecimento da madeira. A deterioração dos elementos existentes pode ser devido à falta de protecção destes contra agentes agressivos, nomeadamente a humidade. Tanto a humidade como a temperatura determinam a criação (ou não) de condições ideais para o ataque de insectos xilófagos e a consequente degradação biológica da madeira.

Após a inspecção e diagnóstico aos elementos de madeira, surge a necessidade de escolher técnicas e produtos mais adequados de intervenção, de forma a poder proceder à reparação dos elementos em madeira. Para isso é necessário conhecer bem essas técnicas e materiais disponíveis para cada problema neste tipo de estruturas.

#### 4.1.1 PONTOS CRÍTICOS DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA

Uma peça de madeira poderá começar a ser degradada se os seus pontos mais frágeis não estiverem devidamente protegidos. Assim, as primeiras intervenções no elemento deverão ser nesses pontos críticos, de forma a reduzir drasticamente o risco de deterioração.

A zona mais frágil dos elementos em madeira é, normalmente, a do borne, dado ser uma zona externa da secção da peça. A degradação dos elementos em madeira está logicamente ligada à humidade e à capacidade dos elementos em absorvê-la. Assim, a superfície de maior risco será a do plano transversal à da direcção das fibras, dado ser uma zona com muita porosidade e capacidade de absorção de água. Esta maior facilidade de entrada de água no elemento vai permitir uma maior possibilidade de desenvolvimento de agentes patológicos, nomeadamente de fungos xilófagos (de podridão).

São vários os pontos críticos em análises a elementos de madeira, sendo de destacar:

- Uniões entre elementos – nas samblagens entre peças é frequente haver encaixes e rebaixos onde se poderá acumular água e, conseqüentemente, ocorrer o início da degradação;
- Topos das peças expostos às diferentes condições climatéricas;
- Extremos de elementos;
- Peças em contacto com o solo ou com humidade;
- Elementos exteriores ao edifício;
- Topos de peças (por exemplo, vigas) apoiadas em paredes;
- Topos de peças junto a zonas de risco (junto a fachadas, remates de pavimentos e cobertura, zonas de lavagens ou de criação de condensações e/ou pouco ventiladas);
- Meio-vão de peças longas (como vigas e alguns barrotes).

#### 4.1.2 CAUSAS DE DEGRADAÇÃO

Como principais causas de degradação e de problemas construtivos/estruturais, são de destacar os seguintes:

- Deformações excessivas relacionadas com excessos de carga, colocação em obra de madeira verde, processos cíclicos de secagem e humidade ou ainda por inércia insuficiente;
- Falta de ventilação nos pavimentos, que poderão provocar degradações por podridão, devido ao excesso de condensações;
- Infiltrações de água, devido principalmente a problemas nas coberturas, nas caixilharias, nas alvenarias ou nas canalizações do sistema de drenagem de água;
- Fungos de podridão devido à proximidade com o solo, humidade ou devido à existência de condensações e processos de capilaridade;
- Deficiente protecção contra os agentes atmosféricos (principalmente o sol e a chuva);
- Anomalias nas ligações entre as paredes e os elementos em madeira (nivelamento e bloqueio);
- Erros estruturais tais como a supressão de apoios, erros de execução, materiais mal escolhidos e deficiente contraventamento das estruturas;

- Telhados pouco salientes, facto que permitirá um escoamento de água pelos elementos externos e uma possível infiltração para o interior do edifício;
- Aparecimento de vegetação perto dos elementos;
- Aberturas de ventilação obstruídas.

Estas situações, tais como outras potencialmente “perigosas”, como a proximidade à rede de esgotos e de abastecimento de água, devem ser acompanhadas e analisadas desde o exterior até ao interior do edifício, realizando prospecções e se possível o acesso directo aos elementos em madeira.

## 4.2 PRINCIPAIS ANOMALIAS DE ORIGEM DOS ELEMENTOS DE MADEIRA

Entende-se por defeitos da madeira todas as particularidades que um seu elemento apresenta, e que comprometam a qualidade e os valores das propriedades físicas e mecânicas da peça, ou seja, a sua utilização para um determinado fim definido. Essas particularidades têm origem, normalmente, em defeitos de crescimento da árvore. Segundo a norma “NP 180:1962. Anomalias e defeitos da madeira.”, os vários tipos de anomalias e defeitos da madeira são agrupados em quatro classes, sendo elas:

- 1) Natureza heterogénea do material. Anomalias e defeitos relacionados com a estrutura do lenho ou com particularidades da morfologia da árvore;
- 2) Anomalias e defeitos devidos a influências externas (períodos meteorológicos, práticas culturais);
- 3) Anomalias e defeitos devidos ao ataque de fungos ou de animais xilófagos;
- 4) Anomalias e defeitos devidos ao abate, à secagem e à laboração.

Os principais tipos de defeitos, que interferem directamente no comportamento estrutural, estão descritos a seguir (adaptado de Cachim, P., 2007):

. Fio – Designa-se por fio da madeira a inclinação relativa, mais ou menos acentuada, das fibras em relação ao eixo longitudinal da peça. Pode resultar de um mau processo de corte, de uma utilização de elementos de madeira com esta anomalia de crescimento (por exemplo, corte de troncos curvos ou deformados) ou devido a uma serragem oblíqua de peças. O fio inclinado tem como principais consequências a redução da resistência e da rigidez da peça, o aumento da dificuldade em trabalhar a peça e o possível aparecimento de fendas e empenos (devido a alterações de humidade). Normalmente, usam-se algumas regras de classificação visual que especificam valores máximos de inclinação do fio de 10% para madeiras de alta qualidade, e 20% para baixa qualidade.

. Fendas – São caracterizadas por descontinuidades na madeira e surgem devido a elevadas tensões de crescimento, presença de defeitos (como sejam nós ou lenho de compressão), ou devido a uma secagem inadequada. Provocam uma redução da secção útil da peça e podem ser preocupantes quando repassadas, ou seja, se estas atravessarem as faces opostas dos elementos, e estiverem localizadas em zonas de união ou em elementos sujeitos a compressão axial. Os seus efeitos estão relacionados com a sua localização, comprimento, profundidade, existência de outros defeitos (por exemplo, nós ou fio inclinado), e nem sempre estão associadas a patologias estruturais. Existem fendas de secagem que são caracterizadas por se desenvolverem no sentido das fibras das madeiras partindo da periferia do tronco para a sua medula. Estas fendas resultam normalmente devido a processos de secagem bruscos e podem surgir em todo o tipo de espécies, embora haja algumas que tenham tendência para fendilhar

com maior facilidade que outras. As fendas anelares resultam do descolamento entre camadas de crescimento consecutivas, com desenvolvimento circular. Podem ocorrer em árvores que, durante o seu crescimento, sofreram flexões permanentes (por exemplo, devido ao vento), ou ainda processos de congelação.

. **Nós** – Secções simples de massa lenhosa correspondentes a inserções dos ramos no tronco da árvore. Têm normalmente forma cónica e um vértice situado na medula. A forma do nó é dependente da orientação do plano de corte da madeira relativamente ao ramo. Nas resinosas os nós (ramos) irrompem em feixes do tronco a intervalos mais ou menos regulares, cuja dimensão é controlada pela velocidade de crescimento da árvore. Na madeira serrada surgem zonas de madeira limpa interrompidas por grupos de nós. A norma “NP 180:1962” classifica os nós quanto à:

- Forma** (que a sua secção apresenta na face das peças): redondo ou circular, elíptico ou oval e deitado ou comprido.
- Aderência**: nó firme (aderente, fixe, vivo), o de um ramo em desenvolvimento, no qual os anéis de crescimento envolvem continuamente o lenho e o ramo; nó soltadiço (solto, morto, cadente, rajo), o de um ramo partido ou morto; deixa de se desenvolver e permanece incrustado no lenho.
- Agrupamento**: nó isolado, não faz parte de nenhum agrupamento; nós agrupados, dois ou mais nós próximos uns dos outros, de tal forma que as fibras circundantes estão inflectidas em torno do grupo por eles formado; ninho de nós, caso especial de nós agrupados no qual estes são de pequenas dimensões; verticilo de nós, conjunto de nós orientados segundo diferentes direcções radiais e dispostos no mesmo plano transversal.
- Estado**: nó são, não atacado por agentes biológicos; nó podre, atacado por fungos causadores de podridões; nó fendido (ou rachado), nó com fendas; nó lascado, nó incompleto depois da laboração da peça.
- Localização nas peças**: nó incluso, que não aparece à superfície da peça; nó de aresta (ou canto), localizado numa aresta da peça; nó repassado, o que atravessa a peça e aparece em duas superfícies de corte opostas; nó de face, localizado numa face da peça.

Os principais problemas da existência dos nós são: - causadores de má aparência; - provocam o desvio do fio da madeira, diminuindo a sua resistência e aumentando a possibilidade de a peça rachar; - prejudicam a laboração da madeira. A redução total da resistência da peça devido à existência de um nó está relacionada com a área da secção ocupada pelo nó e a área total da secção transversal do elemento, designada vulgarmente por KAR (Knot Area Ratio).

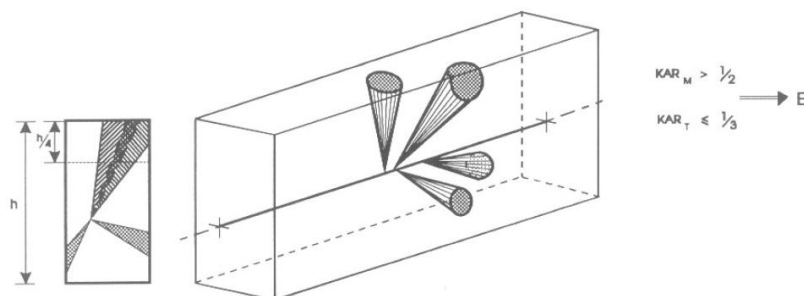


Fig. 4.1 – Idealização dos nós no interior de uma peça e avaliação do KAR total e marginal (LNEC, 1997).

. Empenos – Resultam normalmente do processo de secagem e/ou de um mau acondicionamento das peças durante o seu armazenamento. Resultam na alteração na forma da peça, relativamente a uma forma plana. Podem ser de arco de face, em arco de canto, em hélice ou em meia-cana. Os empenos não reduzem a resistência da peça, mas provocam grandes dificuldades de colocação em obra e no funcionamento da estrutura ou componente em que a peça se encaixa. Os quatro tipos de empenos mais frequentes podem ser encontrados na figura seguinte.

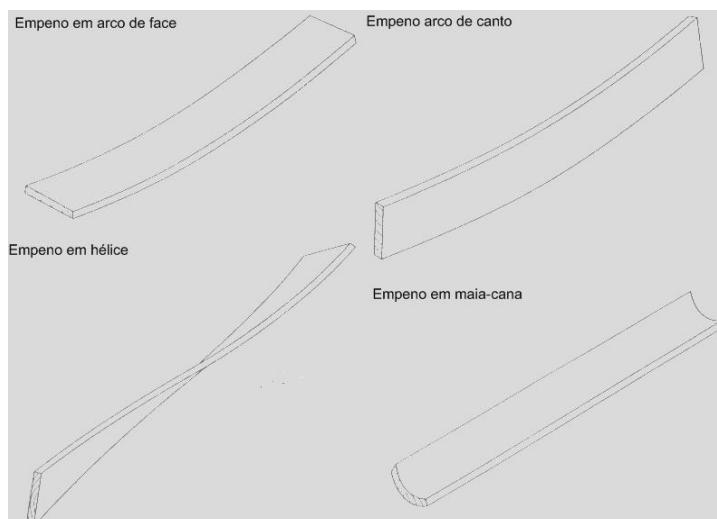


Fig. 4.2 – Principais tipos de empenos em elementos de madeira (Carvalho, 1996).

. Lenho de reacção – consiste em porções de material lenhoso que durante a sua formação sofreu processos exteriores que lhe provocaram anomalias. Estas acções podem dever-se, por exemplo, à localização das árvores em encostas inclinadas, à acção de ventos dominantes ou às condições de luminosidade.

As resinosas possuem lenho de reacção em zonas de elevadas compressões. Nessa zona, o lenho apresenta maior espessura de anéis e maior proporção de madeira de Verão, ou seja, apresenta uma cor mais avermelhada. É provocada uma elevada retracção e distorção durante a secagem, semelhante à que ocorre na madeira jovem, devido à orientação de cerca de 45° por parte das microfibrilas. A presença do lenho de reacção (ou de compressão) permite um aumento da resistência à compressão da madeira, mas reduz a sua resistência à flexão, e, por isso mesmo, a quantidade de madeira de reacção deve ser controlada em madeiras de elevada qualidade.

. Lenho juvenil – Designam-se por lenho juvenil os cinco a quinze primeiros anéis de crescimento que têm propriedades diferentes do restante tronco. O lenho juvenil diferencia-se muito, em termos anatómicos, do lenho adulto, e o conhecimento das suas características tem cada vez mais importância, devido ao facto de cada vez mais haver uma procura de exploração de espécies de rápido crescimento. As principais diferenças entre o lenho juvenil e o lenho adulto consistem no tamanho dos traqueídeos (que é maior no caso do lenho adulto) e na espessura da parede celular (que é mais pequena no lenho juvenil). Nas resinosas, a diferença entre o tamanho das células chega a ser de três a quatro vezes, enquanto nas folhosas a diferença pode atingir o valor de dois.

Existe ainda uma diferença fundamental, que reside no facto de o ângulo de inclinação das microfibrilas da parede celular ser mais acentuado no lenho juvenil, ou seja, esta madeira vai apresentar uma menor resistência à tracção, menor rigidez e maior retracção longitudinal.

Normalmente, o lenho juvenil encontra-se localizado no cerne, e, por isso mesmo, pode dizer-se que a madeira do cerne tem maior resistência que a madeira do borne. Nas espécies de rápido crescimento, o lenho juvenil ocupa uma grande parte do tronco, portanto não pode ser desprezada a sua influência nas propriedades físicas e mecânicas da madeira, verificando-se muitas vezes nestes casos uma maior tendência à madeira da zona central em sofrer processos de torção ou de empenamento.

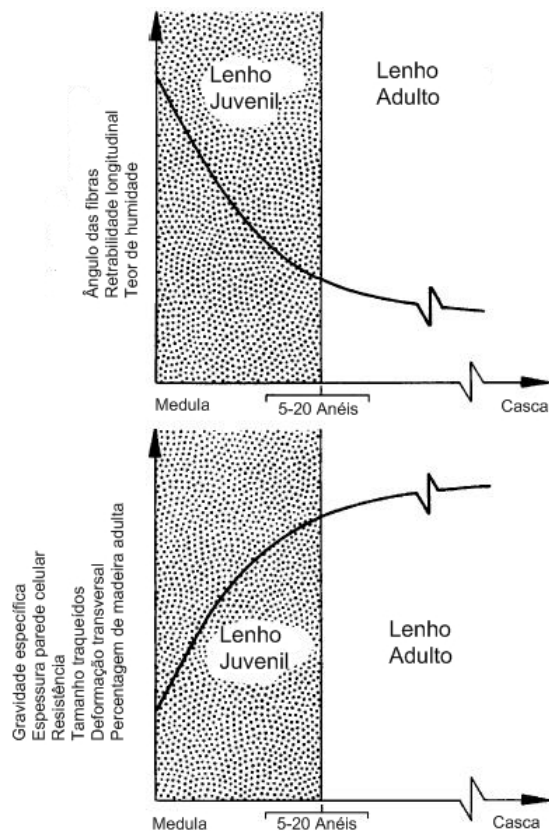


Fig. 4.3 – Propriedades do lenho juvenil (adaptado de Wood Handbook;1999).

. Medula – Consiste no núcleo do lenho formado por tecido primário de natureza parenquimatosa e circundado pelas camadas de crescimento. A medula constitui um defeito pelo lenho juvenil que se lhe encontra associado, e não por si mesma. O lenho juvenil apresenta um fio mais inclinado em relação ao lenho adulto, bem como paredes celulares menos espessas, com a conseqüente redução da resistência e aumento de retracção longitudinal.

. Bolsas de resina e casca inclusa – Provocam um efeito semelhante ao provocado pelos nós, ou seja, provocam um desvio localizado do fio e criam um ponto fraco onde a rotura poderá ter início. Poderão aparecer em madeiras da família das resinosas, e surgem normalmente devido a fermentos causados na árvore durante o seu crescimento (por exemplo, a queda de outra árvore ou ataque de insectos)

. Descaio – É provocado por um defeito de laboração, que se traduz na falta de madeira numa determinada aresta ou arestas das peças, bem como numa redução da secção localizada e na possível dificuldade de ligação a outras peças. O descaio reflecte o remanescente da superfície do toro na peça de madeira.

A existência de anomalias de origem nas madeiras é comum, e nem sempre são a causa de defeitos de funcionamento das peças. O defeito mais comum, e o que costuma trazer maiores problemas em termos de resistência, é o do desvio das fibras, facto que provoca uma fissuração de secagem mais ou menos inclinada. Quanto à existência de nós, revela-se também bastante comum; se este ou estes forem situados em zonas traccionadas, poderão ocorrer concentrações de tensões devido a possíveis desvios das fibras locais, enquanto que se o nó se localizar numa zona comprimida poderá não causar qualquer tipo de dano.

#### 4.3 PATOLOGIAS MAIS FREQUENTES QUE LEVAM A PERDA DE INTEGRIDADE DAS PEÇAS

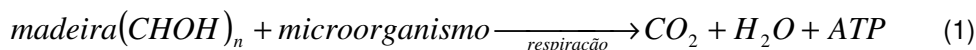
Os elementos em madeira não são, à partida, elementos que se sabe que irão degradar-se com o tempo. São conhecidos elementos ou artefactos em madeira que contam com várias centenas e até mesmo milhares de anos, e que se encontram em bom estado. Este facto vem provar que o tempo, por si só, não provoca a depreciação dos elementos em madeira, desde que estes se mantenham em condições ambientais particulares que favoreçam a sua protecção contra agentes patológicos.

A degradação dos elementos em madeira surge com a actuação de agentes físicos, químicos, mecânicos e biológicos, aos quais o material é sujeito ao longo do seu período de vida.

Os agentes atmosféricos provocam alterações nos elementos de madeira, devido a uma decomposição química dos compostos da madeira, quando em contacto com a luz solar e a chuva. É uma degradação meramente superficial, com apenas consequências estéticas, resultantes da radiação ultra-violeta e da deslavagem da camada superficial pelo efeito da chuva.

#### 4.4 PATOLOGIAS DE ORIGEM BIOLÓGICA (BIODEGRADAÇÃO)

As causas de degradação mais frequentes da madeira são as de origem biológica. O princípio da biodegradação coloca a madeira na cadeia trófica, onde esta serve de alimento aos organismos vivos que, para se desenvolverem, necessitam de madeira (Cachim, P.;2007). A degradação da madeira por microorganismos pode assim ser descrita por:



Esta equação traduz o princípio de ataque por parte dos microorganismos à madeira. Estão nela presentes o oxigénio e o microorganismo xilófago que originaram dióxido de carbono e água. A energia libertada pela reacção é utilizada para o desenvolvimento dos microorganismos; no entanto, este tipo de degradação só poderá ocorrer na presença de humidade, dado que na madeira existem os hidroxilos livres (OH) que absorverão os microorganismos (dado serem constituídos por 99% de água). Assim, a biodegradação só poderá ocorrer quando a madeira se encontra perto do psf, com uma

humidade variando entre 25 e os 28%. Os insectos xilófagos constituem outro grupo de agentes deterioradores da madeira, e o seu consumo de madeira inicia-se pela fase larvar de coleópteros, ou por térmitas, das quais resulta a abertura de galerias. Os grandes grupos de agentes biológicos que causam a degradação da madeira são os seguintes:

- Fungos xilófagos;
- Insectos xilófagos (térmitas e carunchos);
- Xilófagos marinhos.

#### 4.4.1 FUNGOS XILÓFAGOS

A madeira para uso na construção encontra-se sobre o risco de sofrer graves problemas de degradação devido à existência de organismos que dela se alimentam. Devido à existência de variadas substâncias nutritivas, como açúcares, gomas, resinas e amidos no lenho, a probabilidade de ataque por parte de fungos é alta.

Os fungos são constituídos por células filamentosas que penetram e se espalham na madeira através de esporos, de tamanho menor que o pólen das plantas, e que ao germinarem formam o micélio, consumindo por acção enzimática todos os seus constituintes, provocando também o aparecimento de podridões, que desencadearão ao longo do tempo a perda de toda, ou parte, da resistência mecânica da madeira.

Estes fungos são conhecidos por xilófagos (do grego xylon, madeira e fagos, comer) que vivem de forma saprófita, e o tipo de ataque que desenvolvem está directamente relacionado (entre outros) com:

- Teor em água das peças (normalmente superior a 20%);
- Presença de oxigénio;
- Temperatura (valor óptimo entre os 23 e os 30°C);
- Acidez do substrato;
- Capacidade de Reprodução;
- Composição;
- Área de Distribuição.

Existem dois grandes grupos de fungos: o primeiro constituído por fungos cromogéneos e bolores, e o segundo constituído por fungos de putrefacção ou podridão.

##### 4.4.1.1 Fungos Cromogéneos e Bolores

Estes fungos caracterizam-se essencialmente pelo aparecimento de manchas coloridas (dependendo da espécie fúngica podem ser de cor branca, preta, azul, amarela, cinzenta, etc...) em madeiras sujeitas a baixas temperaturas, não sendo habitual provocarem graves problemas de resistência nas madeiras (depende, obviamente, do grau de exposição e de distribuição do fungo), costumando apenas causar um mau impacte visual. São fungos que não afectam as paredes celulares (apenas aumentam a permeabilidade) e que produzem esporos em ambientes de elevada humidade relativa, os quais só são possíveis de identificar ao microscópio.

Os ataques por parte destes fungos podem ser efectuados devido ao transporte de esporos através do vento, do contacto directo da madeira sã com esporos ou através de insectos que transportam esses



mesmos esporos para o interior das peças. O ataque mais grave por parte destes fungos é efectuado sobre o borne das resinosas e caracteriza-se pela alteração da cor da madeira para uma cor azulada.

Os bolores são caracterizados pelo aparecimento de superfícies de tonalidades entre o branco e o preto, com a forma de esponja. A sua presença requer preocupações quando existe a possibilidade de estes darem origem a podridões devido ao aumento da higroscopicidade, mas, por norma, é de fácil remoção e não inspira grandes cuidados.



Fig. 4.4 – Elemento de madeira com presença de bolor.

#### 4.4.1.2 Fungos de Podridão

A degradação grave da madeira devido à existência de fungos de podridão revela-se normalmente pela perda de características físico-mecânicas essenciais nas peças, nomeadamente: - alteração do teor em água; - diminuição da massa volúmica; - alteração da coloração; - diminuição da resistência; - o somoco; - a desintegração; - odor a mofo.

O início do processo de podridão é de difícil estabelecimento, dado que a emissão de produtos químicos por parte das hifas que dissolverão os nutrientes da madeira são efectuados no interior da mesma, permanecendo assim ocultas até um estado avançado de algum desenvolvimento.

Segundo (Arriaga,2002), existem três tipos de podridão: podridão branca, podridão branda e podridão cúbica.

##### a) Podridão branca

Os fungos de podridão branca são fungos superiores (da classe Basidiomicetos) e actuam sobre a celulose e hemicelulose através de enzimas, embora a sua actuação mais prejudicial seja sobre a lenhina das paredes celulares, as quais são decompostas através de processos de oxidação. Após este desaparecimento da lenhina, a madeira apresenta um aspecto fibroso de cor esbranquiçada (indicador da presença de celulose), sem resistência mecânica.

Este tipo de podridão é mais vulgar em madeiras das espécies Folhosas, devido ao seu maior teor em lenhina e algumas hemiceluloses, do que nas Resinosas. Estes fungos têm normalmente condições óptimas para se desenvolverem quando as peças se encontram com teores de humidade acima do ponto de saturação das fibras, ou seja, quando as peças estão em contacto com o solo ou com meios húmidos.

As principais espécies de fungos causadores deste tipo de podridão são: *Schizophyllum commune* F., *Polystictus versicolor* F. (nas Resinosas e Folhosas) e *Stereum hirsutum* W., *Eutypa fláviovirescens* F. e *Xylaria hypoxylon* G. (nas Folhosas).



Fig. 4.5 – Exemplos de podridão branca – Da esquerda para a direita: - *Schizophyllum commune* F.; - *Polystictus versicolor* F.; - *Xylaria hypoxylon* G.; - *Eutypa fláviovirescens* F.

#### b) Podridão branda

Estes fungos são caracterizados por degradarem preferencialmente a celulose das paredes secundárias. É uma acção efectuada por fungos inferiores (da classe dos Ascomicetos), os quais têm como ambiente preferencial de desenvolvimento a humidade excessiva. São, por isso mesmo, encontrados normalmente em peças localizadas em ambientes bastante húmidos e sem ventilação, em contacto com o solo e/ou directamente com água.

O ataque deste tipo de podridão caracteriza-se normalmente por uma superfície, enquanto húmida, com uma coloração esbranquiçada e forma esponjosa, tendendo a fissurar a peça em pequenos cubos com a secagem da mesma. Dado ser um tipo de podridão que só é possível detectar num estado avançado de desenvolvimento, pode tornar-se perigoso e irreversível, devido às sucessivas camadas de hifas.

Os géneros que mais frequentemente provocam este tipo de podridão são os *Cephalosporium* e os *Chaetomium*.

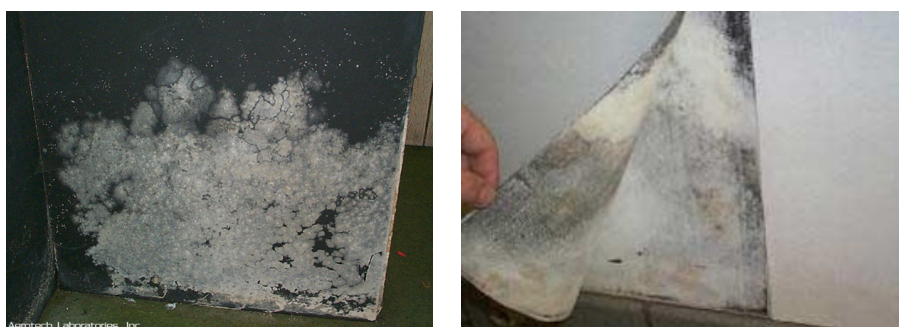


Fig. 4.6 – Exemplos de podridão branda – À esquerda *Chaetomium* e à direita *Cephalosporium*.

#### c) Podridão cúbica

Este tipo de podridão é o mais perigoso e é efectuada por fungos superiores (classe dos Basidiomicetos), que normalmente atacam em maior quantidade as Folhosas. O ataque destes fungos (com bordos brancos e centro vermelho) atinge sobretudo a celulose e a hemicelulose das paredes celulares, através de um processo de oxidação seguido de hidrólise. Depois do ataque, a lenhina remanescente adquire uma cor escura, sendo que a zona de ataque após secagem fica fissurada em forma cúbica, devido às alterações de volume da peça, e bastante frágil, podendo mesmo ser desfeita em pó através de um simples contacto mecânico.

Estes fungos costumam ser característicos de zonas húmidas e mal ventiladas dos edifícios, como por exemplo as entregas dos elementos estruturais do pavimento e cobertura nas paredes, denominando-se assim este ataque de podridão cúbica húmida (espécies mais conhecidas - *Cniophora cerebella* D. e *Poriavaillantii*). Apesar disso, estes podem actuar em elementos secos dado que, por vezes, estes fungos têm capacidade de transportar água das zonas húmidas para as zonas secas, passando a denominar-se este ataque por podridão cúbica seca (espécie mais comum - *Serpula lacrymans* G.).

Para além dos dois tipos de podridão referidos anteriormente, existe ainda outro tipo mais raro de ataque, denominado por podridão cúbica húmida e parda. Esta putrefacção é caracterizada pelo aparecimento de uma película superficial branca, normalmente descolorada e corroída com pequenas fissuras quando seca. Estes fungos alimentam-se de celulosas e hemicelulosas da parede celular da madeira, acabando por formar cavidades paralelas à direcção das microfibras da celulose da parede celular secundária. Este tipo de ataque é muito perigoso, visto só ser detectado numa fase avançada de degradação, quando o peso da madeira diminui drasticamente do peso inicial. As consequências principais deste ataque são o aumento da permeabilidade da peça, a diminuição da resistência à tracção e compressão (em cerca de 80 a 95%) e também a diminuição do peso (cerca de 10 a 20%).



Fig. 4.7 – Exemplo de podridão cúbica – *Serpula lacrymans* G (Tampone;2002).

#### 4.4.2 INSECTOS DE CICLO LARVAR

Existem várias espécies de insectos de ciclo de larvar que atacam madeiras, sendo de destacar os carunchos, os gorgulhos e as traças. Os mais comuns, e ao mesmo tempo os mais prejudiciais, são os carunchos, e será dado destaque a essa espécie de Coleopteros.

Os carunchos são insectos que actuam normalmente sobre madeira seca na forma de abertura de galerias, nas quais as larvas se alimentam. A infestação das madeiras dá-se normalmente através da eclosão de ovos em fendas ou poros que posteriormente dão origem a larvas as quais, por sua vez, abrem galerias de forma a se alimentarem e atingirem o estado de pupa, seguindo-se o de adulto. Após atingir a forma adulta, o insecto abandona a madeira através de um orifício à superfície da peça, dedicando-se exclusivamente à reprodução e dispersão da espécie através da colocação de ovos em novas fendas e orifícios.

Um ataque por carunchos é normalmente identificado pela existência de orifícios de saída dos insectos e pela presença de serradura na superfície ou nas imediações do orifício. No caso de se tratar de um ataque por carunchos grandes, é normal ouvir-se um barulho característico (roer) no interior da

madeira devido à actividade da larva, que poderá traduzir-se, também, pelo ligeiro empolamento das superfícies devido ao efeito da pressão da serradura no interior das galerias.

O ataque por carunchos em peças de madeira tem como consequência a perda grave de resistência mecânica. Este facto deve-se à perda de secção correspondente à abertura de galerias, normalmente localizadas no exterior do borne, e depende, obviamente, do tipo de caruncho em causa.

Os carunchos mais comuns são: - *Anobium Punctatum* De Geer; - *Hylotrupes bajulus* L.; - *Lyctus brunneus* Steph.; - *Pselactus spadix* H.



Fig. 4.8 – Exemplos de insectos do ciclo larvar – Da esquerda para a direita: - *Anobium Punctatum* De Geer; - *Hylotrupes bajulus* L; - *Lyctus brunneus* Steph; - *Pselactus spadix* H.

#### 4.4.3 TÉRMITAS E FORMIGAS

Fazem parte deste grupo os denominados insectos sociais, ou seja, que vivem em comunidade organizada. São comunidades hierarquicamente organizadas, compostas normalmente por reprodutores (ou reais), soldados (defendem a comunidade de ataques) e operários (que buscam alimento, constroem ninhos e reparam possíveis danos).

As madeiras alvo deste tipo de ataque são, por norma, as madeiras húmidas (teor de água acima de 20%), e que se encontrem em contacto com o solo ou na sua proximidade (pisos térreos).

O ataque por térmitas é efectuado através da abertura de galerias junto à superfície das peças (abrigados da luz), nas quais se deslocam, e num ambiente húmido essencial ao seu desenvolvimento. Este ambiente húmido é provocado pelos restos de digestão largados pelos insectos, que vão degradando a celulose facilitando a ingestão, transformando-a em proteínas e açúcares. Por outro lado, estes indivíduos conseguem alimentar-se de indivíduos mortos, papel e tecidos, o que torna ainda mais difícil a sua extinção.

As térmitas, apesar de atacarem normalmente em madeiras perto de zonas húmidas ou em contacto com, por exemplo, alvenarias de fundações, estas podem atacarem também em zonas não muito húmidas como tacos, soalhos, divisórias de casa de banho, rodapés, etc. Preferem madeiras de Resinosas às de Folhosas (excepto o Carvalho, que é muito atacado).

A identificação de um ataque por térmitas é efectuada visualizando o aspecto laminado da madeira, devido à destruição das camadas (anéis) de Primavera, sem que tenham sido praticamente lesadas as de Verão.

A espécie de térmita mais comum em Portugal é a *Reticulitermes lucifugus* Rossi.





Fig. 4.9 – Exemplo de *Reticulitermes lucifugus* Rossi à esquerda. À direita identificação dos membros da colônia.

#### 4.4.4 OUTROS INSECTOS

Existem variadas espécies de insectos, sendo de destacar dois grandes grupos, os da classe Lépidoptera e os da classe Hymenoptera.

Da classe dos Lépidoptera, a espécie mais conhecida é a do *Cassus Cassus* L., que são insectos de coloração escura com época de voo compreendida entre Junho e Julho. São indivíduos que atacam Folhosas com alto teor em humidade, através da abertura de galerias na fase de larva, mas que não apresentem detritos devido à sua passagem.

Quanto à classe dos Hymenoptera, estes não são insectos tão importantes em termos de degradação provocada, sendo de destacar quatro grandes espécies: - *Sirex gigas* L.; - *Paururus juvencus* L.; - *Herculeanus* L.; - *Formiga ligniperda* L..

Os primeiros (*Sirex gigas* L.) são regularmente denominados por vespas da madeira, tendo o corpo vermelho e cinza escuro, enquanto as fêmeas têm frequentemente o corpo às riscas amarelo claro e violeta. As larvas consomem uma espécie de fungo que é fabricado e introduzido na madeira pelas fêmeas adultas no momento do acasalamento. Têm preferência no ataque a madeiras de Resinosas, recém-cortadas, embora normalmente não haja possibilidade de uma re-infestação em madeiras secas. A sua detecção é feita com a visualização das galerias provocadas pelas larvas e manchas azuladas, devido ao fungo inoculado pelas fêmeas.

A espécie *Paururus juvencus* L. diz respeito a insectos de cor azul metálico, enquanto que as espécies *Herculeanus* L. e a *Formiga Ligniperda* L. são espécies de formigas. Todos estes degradam madeiras de Resinosas.

Outros insectos vulgarmente falados são os da família Xilocopidae, regularmente denominados por abelha da madeira, que tomam uma cor preta com reflexos violeta. Degradam acima de tudo peças de grandes dimensões, como vigas ou traves estruturais, através da abertura de galerias na direcção das fibras.



Fig. 4.10 – Exemplos de insectos. Da esquerda para a direita: - *Herculeanus* L.; - *Ligniperda* L.; - *Paururus juvencus* L.

#### 4.4.5 XILÓFAGOS MARINHOS

No que diz respeito a madeiras em contacto com água salgada, a sua degradação é normalmente efectuada por xilófagos marinhos que, dependendo da espécie e das condições locais, fazem com que a velocidade de degradação da madeira seja maior ou menor.

O ataque por xilófagos marinhos pode ser efectuado por bactérias, algas, fungos, moluscos (degradação interior) ou por crustáceos (degradação superficial). Este ataque é caracterizado pela abertura de galerias, tanto no borne como no cerne da madeira (nomeadamente nas zonas em que as peças são afectadas pelo movimento das marés), pelas larvas onde se vão desenvolver em profundidade (no caso de moluscos), ou então pelos crustáceos que preferem abrir galerias mais na superfície, dando um aspecto rendilhado característico às madeiras.

As madeiras com maior durabilidade relativamente aos xilófagos marinhos são as que possuem um maior teor em sílica, embora existam outros factores também importantes, como o teor em oxigénio, a temperatura ou a salinidade da água.

Os moluscos mais comuns em Portugal são o *Teredo navallis* L. (comum no Mar Mediterrâneo), *Teredo norvegica* Spen. (comum no Oceano Atlântico), e *Teredo pedicellata* Quat. (frequente tanto no Mar Mediterrâneo como no Oceano Atlântico), que são bastante conhecidos pela degradação que causam nas madeiras dos barcos.

Quanto aos crustáceos xilófagos, estes possuem a forma de concha com sete pares de patas, de coloração cinzenta e amarela. As espécies mais vulgares em Portugal são o *Lignoria Lignorum* White (ou piolho do mar – atacam peças previamente atacadas por moluscos) e *Limnoria Tripunctata* Men (atacam peças previamente atacadas por fungos marinhos de podridão).



Fig. 4.11 – Exemplo de xilófago marinho - *Limnoria Tripunctata* Men.

#### 4.5 AGENTES ATMOSFÉRICOS

A degradação da madeira pode ocorrer por contacto directo com os agentes atmosféricos, como a água e a radiação solar, que surgem como os mais comuns. Este tipo de degradação é mais lenta do que a realizada pela grande maioria de outros agentes, dado que, em média, a profundidade destruída durante um século é de 6 mm, podendo este valor variar conforme o tipo de madeira, clima e exposição aos agentes.

Em relação à água, a madeira exposta a chuva sofre degradação devido às trocas de água na superfície externa da madeira. Esta água é absorvida por capilaridade através das fibras, saturando os poros tubulares e posteriormente, por adsorção, entra pelas paredes das células criando variações no estado de tensão e assim originando empolamentos e fendas, que por sua vez diminuem a resistência mecânica da madeira. Por norma, este fenómeno afecta o cerne (apenas em algumas situações é que afecta o borne), e assim cria condições para o aparecimento de fungos de podridão, bem como para manter as condições ideais para a sobrevivência de insectos xilófagos.

A interferência da água nos pavimentos de madeira é normalmente realizada quando estes estão sujeitos ao contacto directo com água ou então de forma indirecta através de outros elementos. De facto, os pisos térreos costumam ter problemas devido à ascensão de água pelas paredes de fundação até aos pavimentos ou então devido ao contacto directo com o terreno.

A resistência mecânica da madeira poderá ser restabelecida através de um processo de secagem, embora este não deva ser realizado rapidamente, dado que poderá originar fissuração devido a esforços internos de tracção.

No que diz respeito à radiação solar e seu efeito na degradação na madeira, poderá começar-se por dividir esta radiação em duas vertentes, sendo elas a da radiação ultravioleta e a da incidência de raios infravermelhos.

Em relação à radiação ultravioleta, esta afecta essencialmente a lenhina da madeira, o que terá como consequência a sua mudança de cor, primeiro em tons acastanhados, e depois a transição para tons cinzentos. Este tipo de acção, para além da má imagem, poderá provocar um desfibramento superficial na madeira devido à separação da membrana exterior das células do borne, o que se traduzira no possível aparecimento de pequenas “cristas” (no Outono/Inverno) ou de “vales” (Primavera).

Os raios infravermelhos provocam um aquecimento considerável à superfície das madeiras, o que poderá ter como consequência a perda de humidade nessas zonas e a correspondente alteração do estado de tensão. Esta alteração do estado de tensão provocará contracções e dilatações na madeira, e assim surgirão fissuras longitudinais, dependendo, claro está, do grau de retracção da espécie em causa. Estas fendas serão possíveis focos de ataque bióticos que aceleram a degradação da peça em causa.

Por último, surge a acção do vento. Esta apenas poderá causar problemas quando a actuação se efectua sobre elementos previamente degradados por outros factores, causando a sua ruína. Apesar disto, o vento traz quase sempre benefícios às peças de madeira, provocando a sua ventilação e a redução drástica da humidade existente.

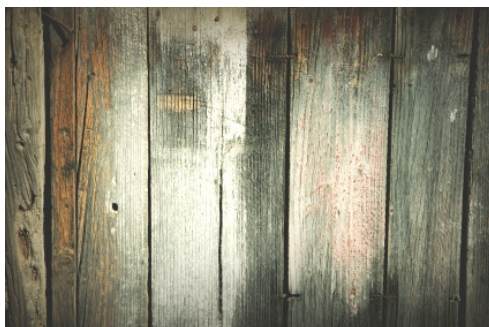


Fig. 4.12 – Exemplo de Pavimento degradado devido a agentes atmosféricos.

#### 4.6 AGENTES QUÍMICOS

A madeira é um material que resiste relativamente bem aos ataques de agentes químicos. Por isso mesmo é que é muitas vezes usada na indústria química para produção de elementos químicos e para armazenamento desses mesmos produtos.

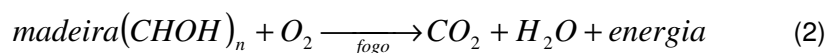
O ataque de químicos a madeiras tem como consequência maior a alteração da coloração e da estrutura das peças, embora também possa haver uma alteração das características resistentes. Por norma, as espécies mais atacadas são da família das Folhosas.

Conforme o ambiente e o químico em causa, as sequelas serão diferentes. Assim, em ambiente ácido, a madeira fica com um aspecto fibroso (devido à destruição das cadeias de carbono), enquanto que em ambiente alcalino a lenhina é severamente afectada, permitindo assim uma perda de resistência da madeira.

Devido à maioria das madeiras apresentarem ácidos livres na sua constituição (o que faz com que tenham, normalmente, um PH entre 4 e 5), nomeadamente o ácido acético, a presença de humidade na madeira pode produzir ainda mais ácido através de processos de hidrólise. Esta produção de ácido excessivo fará com que a alteração da cor seja notória, aparecendo manchas negras ou negras azuladas. Estas manchas poderão ser removidas após a aplicação de uma solução aquosa de ácido oxálico a 8% e posterior lavagem com água.

#### 4.7 ACÇÃO DO FOGO

A madeira é considerado um material combustível e medianamente inflamável; por isso mesmo, o fogo é o processo de degradação mais rápido que a madeira pode sofrer. Isto deve-se à própria constituição da madeira, que é à base de carbono e hidrogénio. A degradação da madeira poderá ser expressa pela seguinte equação:



Como visto na fórmula anterior, na degradação por fogo a madeira necessita de oxigénio e liberta dióxido de carbono, tal como na degradação por microorganismos. Apesar disto, a energia gerada na degradação por fogo não é utilizada no crescimento de microorganismos, mas sim libertada na forma de vapor de água (elemento que constitui entre 8 a 15% da madeira) a altas temperaturas (até 275°C),



secando a madeira. A partir dos 275°C a reacção é exotérmica até atingir os 450°C, altura em que se começa a formar um resíduo sólido à superfície da madeira, na forma de carvão. Este carvão é, por si só, um excelente isolador térmico e, por isso mesmo, retarda o desenvolvimento da carbonização da peça de madeira, podendo até fazer com que a temperatura exterior seja insuficiente, causando a sua extinção; caso contrário, poderá provocar o colapso estrutural. Em peças de secção transversal superiores a 80 mm, o fogo incendeia rapidamente a superfície da madeira, criando uma espécie de capa carbonizada em volta da peça e protegendo, assim, o núcleo da madeira, permitindo que as suas principais propriedades se mantenham intactas.



Fig. 4.13 – Exemplo de secção transversal de um elemento sujeito ao fogo.

O comportamento do fogo nas madeiras varia de espécie para espécie, verificando-se também que a dificuldade de ignição é proporcional à densidade da madeira, enquanto que a sua densidade é inversamente proporcional à taxa de combustão. Assim, para garantir uma determinada resistência ao fogo ou para fazer secções de protecção, torna-se interessante utilizar madeiras duras. Por outro lado, um dos parâmetros importantes na resistência ao fogo é a superfície específica da madeira, dado que estruturas com grandes secções transversais, em comparação com as de pequena secção, apresentam maior resistência ao fogo. A existência de cantos afiados, de grandes superfícies ou de fendas, contribuem negativamente para o comportamento do fogo; por isto mesmo é que, por exemplo, na madeira laminada colada e livre de fendas, a taxa de carbonização é mais baixa que na madeira sólida.

O início do processo de ignição numa peça de madeira está directamente relacionado com a massa específica (seca em estufa) da espécie de madeira em causa. Assim, quanto maior for o peso específico da madeira, maior será o seu tempo de ignição.

Durante um incêndio, existem duas grandes fases completamente distintas: a fase de desenvolvimento e a fase de pleno desenvolvimento. A primeira – fase de desenvolvimento – agrega vários fenómenos, tais como a combustibilidade da madeira, a sua igniscibilidade (facilidade de ignição), taxa de libertação de calor e velocidade de propagação superficial. Esta fase incorpora todos os materiais combustíveis envolvidos no incêndio.

Na construção de edifícios, o problema do fogo é primariamente abordado no sentido da salvaguarda de vidas humanas, ou seja, a verificação de segurança estrutural tem em conta que todas as estruturas devem poder suportar cargas durante um determinado tempo, quando sujeitas à acção do fogo, e devem conter o fogo dentro da zona de origem sem a fuga de chamas ou gases quentes. De seguida, é efectuada uma verificação de resistência para os elementos estruturais sob a acção do fogo, definindo, se necessário, tratamentos ou protecções ignífugas. Estes produtos são, regularmente, intumescentes que reagem a variações de temperatura, funcionando como isolamento térmico da madeira, retardando assim o início da carbonização.



Fig. 4.14 – Exemplo da resistência de elemento de madeira comparado com o de aço.

Na reabilitação de edifícios antigos com estruturas em madeira, a melhoria da resistência ao fogo destas mesmas estruturas é muitas vezes efectuada através de protecções à madeira, pelo revestimento com outros materiais, pela adição de elementos com baixa reacção ao fogo (à base de gesso ou fibrocimento) ou pela pintura dos elementos com produtos ignífugos.

#### **4.8 DEFICIENTE CONCEPÇÃO (OU USO) ESTRUTURAL**

A degradação acelerada ou a fraca durabilidade das madeiras é, por vezes, resultado de uma deficiente utilização do material. Um dos principais problemas (além de erros estruturais) da madeira diz respeito à interacção forçada com outros materiais, nomeadamente aqueles que possuem humidade. Assim, é fundamental reduzir ao máximo a possibilidade de ocorrência de condensações e o contacto directo da madeira com humidade, evitando assim ambientes favoráveis aos ataques biológicos.

Os erros estruturais são também uma causa comum de patologias graves nas madeiras. Esses erros resumem-se à má concepção de pormenores (principalmente ligações), má escolha da espécie de madeira ou dos tratamentos a ela aplicados, e mau trabalho de execução ou deficiente manutenção das peças ao longo do tempo.

##### **4.8.1 HUMIDADE**

A penetração de água nas madeiras é um ponto importante na sua degradação, devendo, por isso, ser evitada ao máximo, seja no interior ou no exterior de um edifício.

Além do contacto directo com água, as peças de madeira poderão sofrer degradação de forma indirecta através de outros elementos. Um dos casos mais frequentes de humidade é a existente no solo. O solo possui bastante água devido à posição do nível freático e, principalmente em edifícios antigos, devido à perda de água dos sistemas antigos de drenagem. Esta água dos solos pode contactar directamente com elementos de madeira (no caso dos pisos térreos) ou indirectamente, dado que a água poderá subir por capilaridade através de paredes ou outros elementos e assim atingir as madeiras. Por vezes, devido à existência de instalações sanitárias, redes pluviais ou de saneamento defeituosas, acontecem perdas de água para os pavimentos ou paredes, facto que acelera facilmente a degradação da madeira. As condensações são também perigosas, dado que a acumulação de água em que resultam poderá provocar o apodrecimento das peças de madeira, nomeadamente nas extremidades das vigas.

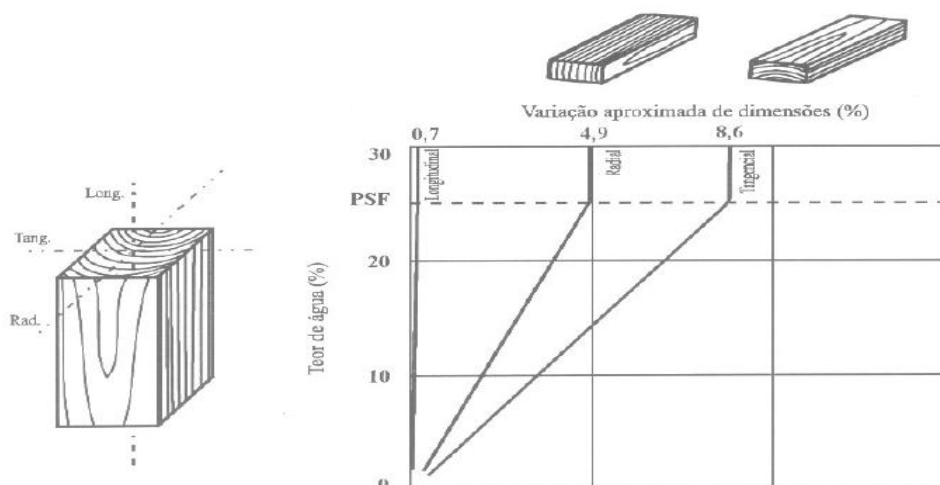


Fig. 4.15 – Direcção tangencial, radial e longitudinal e respectivos coeficientes de retracção em termos relativos (valores médios para o pinho bravo) – LNEC, 1997.

#### 4.8.2 ERROS ESTRUTURAIS

Em edifícios antigos, a visualização de erros estruturais é difícil, visto que, ao longo do tempo, algumas dessas patologias vão sendo corrigidas. Estas patologias normalmente ocorrem em edifícios recentes, pouco tempo depois da aplicação das cargas, traduzindo-se pelo aparecimento de deformações excessivas nas estruturas. As causas para a ocorrência de patologias estruturais devem-se essencialmente ao mau dimensionamento de secções e ligações (estas últimas, mal dimensionadas ou pormenorizadas), falta de travamento da estrutura ou ainda defeitos da madeira.

No que diz respeito ao mau dimensionamento de secções, é possível observar deformações excessivas ou flechas grandes em pavimentos ou coberturas. Devido aos processos de fluência que ocorrem na madeira, as deformações verificadas agravam-se significativamente. Se, por exemplo, uma peça de madeira for colocada em verde, o fenómeno de fluência será maior; se, a juntar a isso, a peça estiver mal dimensionada, poderão ocorrer grandes deformações, e esta estará sujeita a maiores tensões, podendo a médio/longo prazo ocorrer o colapso.

As estruturas de madeira sofrem grandes patologias nas zonas de ligação. Assim, o seu mau dimensionamento agrava claramente o comportamento das peças. Os problemas nestas zonas devem-se essencialmente a espaçamentos desajustados de conectores, esforços adicionais não contabilizados no dimensionamento, ou a deslocamentos que ocorrem nas ligações devido à humidade ou temperatura. Esses problemas podem originar roturas e deslizamentos, agravadas pela deformação em serviço.

Outros dos grandes problemas são os defeitos das madeiras. Dentro destes, há que destacar a presença de nós, principalmente os localizados no centro da peça, que reduzem significativamente a resistência do elemento. Por vezes, a existência de fendas de secagem na madeira de edifícios antigos é um sinal claro de que naquele ponto houve uma perda de resistência do elemento, tornando-se por isso essencial reforçar essa zona da peça.

Por fim, há a destacar o problema dos travamentos. Por vezes, os travamentos das estruturas de madeiras têm graves problemas, facto que conduz a desaprumos, torções, perdas de verticalidade ou

outras deformações, que poderão tornar o funcionamento estrutural dos elementos de madeira mais complicado, e fazer com que ocorram graves patologias de funcionamento.

Os erros estruturais de concepção por vezes não têm consequências imediatas, estes têm, normalmente, uma crescente fragilização ao longo do tempo e podem levar a consequências graves no futuro.

Outra das situações comuns que provoca frequentemente graves danos estruturais é a realização de obras ao longo da vida dos edifícios. Por vezes, nessas intervenções, são removidos elementos construtivos importantes, são alteradas as cargas ao pavimento ou são introduzidas humidades anteriormente não existentes. Assim, a remoção de vigas, paredes de tabique ou alteração de esquemas estruturais dos pavimentos pode levar ao aparecimento de graves problemas estruturais. Por outro lado, a introdução de humidades (devido por exemplo à rotura de canalizações) pode levar ao aparecimento de patologias nos pavimentos em madeira.

#### **4.10 DESCRIÇÃO DE PROBLEMAS ESTRUTURAIS**

Os pavimentos estruturais em madeira sofrem, por vezes, anomalias de estabilidade dos seus elementos, devido a variadas degradações, patologias e danos estruturais. No quadro seguinte, agrupam-se alguns desses problemas, de forma a permitir a sua fácil observação em estruturas de madeira aquando da sua inspeção em edifícios antigos (adaptado de Lopes, M.,2007).

Tabela 4.1 – Causas de problemas

<b>Problema</b>	<b>Descrição/Causa</b>
Roturas pontuais em elementos	Normalmente ocorrem devido à existências de anomalias de origem nos elementos, nomeadamente a existência de nós a meio vão, empenos exagerados, etc;
Diminuição de secção resistente	Causada pela acção de agentes biológicos;
Rotação dos apoios	Por falha nos ligadores entre elementos ou alteração de cargas à estrutura;
Deformações excessivas	Elementos mal dimensionados ou com secção insuficiente para as cargas em causa; Provocadas pelo efeito da fluência (por norma pela colocação das peças ainda no seu estado verde);
Rotura dos elementos	Respeitante ao mau dimensionamento dos elementos, ou seja, à secção insuficiente das peças; Poderá ocorrer em elementos de secção resistente inferior (por exemplo, o tabuado de um pavimento) devido a processos de podridão;
Escorregamentos nas ligações	Devidos à má ligação dos elementos em madeira com os ligadores, ocorrem deformações elásticas;
Encurvadura	A ocorrência de alterações de carga ou de solicitações excessivas em elementos com uma esbelteza determinada para menores cargas, poderá originar encurvadura nos elementos comprimidos;
Falhas nas ligações entre elementos	Devido a mau dimensionamento das ligações ou então devido a uma má execução de projecto. Podem ser detectadas através de deformações nessas ligações ou através de roturas por esmagamento por compressão dos elementos sobre os elementos de fixação metálicos ou por esforços de corte;
Empenamento	Pode ocorrer essencialmente devido à existência de fendas de retracção da madeira após a secagem, à assimetria de cargas e aos efeitos induzidos das vigas e dos elementos de apoio;
Entrega insuficiente	Os elementos estruturais (vigas mestras, barrotes, etc.) poderão estar pouco inseridos nos elementos de apoio (como muros e paredes). Deverão estar no mínimo 15 cm + ½ da espessura da parede;
Levantamento de tábuas	Por norma, devido ao não cumprimento dos espaçamentos/folgas exigidos nas extremidades do pavimento;
Anomalias em pormenores construtivos	Devido geralmente à má execução de projecto em obra.

#### 4.11 DURABILIDADE

Quando se decide reabilitar um edifício é fundamental intervir sempre com o pensamento de identificar e resolver todos os problemas das madeiras, não definindo prazos para possíveis intervenções futuras. Ao contrário disso, deve ser assegurado um plano de manutenção e acompanhamento das estruturas ao longo do tempo.

Um dos aspectos mais importantes a considerar na reabilitação de edifícios, quando se trata de escolher a espécie de madeira a utilizar, é a determinação da durabilidade dessa mesma madeira. Além de ser uma característica intrínseca de cada espécie, esta poderá ser afectada por outros factores, como por exemplo o teor de água existente no local de aplicação da peça. Este teor de água é muito importante no tempo de vida útil do elemento, uma vez que é uma condicionante ao possível ataque por organismos xilófagos.

Costuma designar-se por “durabilidade natural” a capacidade da madeira em resistir a ataques de agentes biológicos sem recurso a tratamentos de preservação. Este tipo de durabilidade é diferente de espécie para espécie, bem como consoante se trate de madeira do borne ou do cerne, sendo a durabilidade do borne bastante inferior à do cerne. A atribuição de uma determinada durabilidade a um elemento em madeira está dependente de uma série de ensaios realizados, os quais permitirão atribuir uma determinada classe de durabilidade (Cachim, P.,2007).

Existem normas europeias (por exemplo, as normas EN 350-1:1994 e EN 350-2:1994) que permitem estabelecer um conjunto variado de testes e critérios para avaliar os resultados dos ensaios, assim como uma definição de classes de durabilidade consoante o ataque biológico (fungos, carunchos, térmitas e xilófagos marinhos), que facultará a obtenção da durabilidade de um vasto conjunto de espécies de madeira utilizadas na Europa.

Tabela 4.2 – Classes de durabilidade.

Agente de degradação	Classes de durabilidade				
	1	2	3	4	5
<b>Fungos*</b>	Muito durável	Durável	Moderadamente susceptível	Pouco durável	Não durável
<b>Carunchos**</b>	D Durável	S Susceptível			
<b>Térmitas***</b>	D Durável	M Moderadamente susceptível	S Susceptível		
<b>Xilófagos Marinhos***</b>	D Durável	M Moderadamente susceptível	S Susceptível		

Notas: \*válido para o cerne, o borne é sempre de classe 5 salvo informações em contrário; \*\* a madeira do cerne é durável, salvo indicação em contrário no qual será de classe SH; \*\*\* durabilidade do cerne, o borne é susceptível para todas as espécies.

Por vezes, verifica-se que certos tipos de madeira não têm a durabilidade natural desejada, ou seja, necessitam da aplicação de produtos de preservação para melhorar o comportamento da peça. Define-se por “tratabilidade” a capacidade da madeira em absorver determinado tipo de produto preservador. A facilidade de impregnação e a profundidade alcançada pelo produto preservador são determinantes na sua eficácia no que respeita ao tratamento das madeiras, mas está obviamente dependente do tipo de madeira, da quantidade de produto utilizada, do processo de tratamento, da impregnabilidade da madeira e do seu teor de água. A norma “EN 350 2:1994” estabelece quatro classes de tratabilidade para as madeiras de diferentes espécies; apesar disso, a distinção entre classes é complicada, pelo facto de a madeira do borne ser muito mais difícil de tratar do que a madeira do cerne e, por conseguinte, poder acontecer que a mesma espécie de madeira apresente diferentes durabilidades e tratabilidades, consoante se trate de madeira do borne ou do cerne.

Tabela 4.3 – Classes de tratabilidade.

Classes de Durabilidade	Designação	Explicação
1	Fácil (permeável)	A madeira serrada pode ser tratada completamente por pressão sem dificuldade.
2	Moderadamente fácil (moderadamente resistente)	A penetração completa não é normalmente possível, mas após 2 a 3 horas de tratamento por pressão, mais de 6 mm de penetração lateral podem ser alcançados nas resinosas e nas folhosas uma grande proporção de vasos será penetrada.
3	Difícil (resistente)	A penetração completa não é possível, atingindo-se após 3 a 4 horas de tratamento por pressão, 3 a 6 mm de penetração lateral podem ser alcançados.
4	Extremamente difícil (extremamente resistente)	Pequenas quantidades de produto preservador absorvido mesmo após 3 a 4 horas de tratamento por pressão quer lateral quer longitudinalmente

#### 4.11.1 CLASSES DE RISCO

De forma a proceder à classificação quanto à durabilidade das madeiras, de uma forma geral, é estabelecida uma atribuição de classes de risco de acordo com a norma “NP EN 335-1:1994. Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Definição das classes de risco de ataque biológico. Parte 1:Generalidades”, que estabelece cinco classes de risco.

Tabela 4.4 – Classes de risco.

<b>Classes</b>	<b>Definição</b>
<b>1</b>	Situação na qual a madeira ou os produtos derivados estão sob coberto, totalmente abrigados das intempéries e não expostos a humedificação.
<b>2</b>	Madeira ou derivados sob coberto, ao abrigo de intempéries mas onde uma humidade ambiente elevada pode conduzir a humedificação ocasional mas não persistente.
<b>3</b>	Madeira ou derivados não estão sob coberto nem em contacto com o solo, mas expostos às intempéries ou em condições de humedificação frequente.
<b>4</b>	Madeira ou derivados em contacto com o solo ou a água doce, portanto permanentemente expostos à humedificação.
<b>5</b>	Madeira ou derivados em contacto permanente com água salgada.

No caso particular da madeira maciça, a classe de durabilidade é estabelecida através da norma “EN 335-2:1994. Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Definição de classes de risco de ataque biológico. Parte 2: Aplicação à madeira maciça”. No caso dos aglomerados, a atribuição da classe de durabilidade é estabelecida na norma “EN 335-3:1994”.



Tabela 4.5 – Classes de risco para madeira maciça.

Classes	Definição
1	O teor em água da madeira é tal que o risco de ataque por bolores superficiais, fungos de azulamento ou fungos lenhívoros é insignificante (teor em água < 20%, qualquer que seja o lado do elemento de madeira e durante toda a vida útil da peça). É possível o ataque por insectos xilófagos, incluindo as térmitas, mas a frequência e importância deste risco depende da região geográfica.
2	O teor em água da madeira excede ocasionalmente os 20 %, quer na totalidade quer em parte do elemento de madeira, o que permite o ataque por fungos lenhívoros. Madeiras com funções decorativas podem ser afectadas por bolores e fungos de azulamento. Risco de ataque por insectos semelhante ao da classe de risco 1.
3	O teor em água da madeira excede frequentemente os 20 %, o que permite muitas vezes o ataque por fungos lenhívoros. Madeiras com funções decorativas podem ser afectadas por bolores e fungos de azulamento. Risco de ataque por insectos semelhante ao da classe 1.
4	O teor em água da madeira excede permanentemente os 20 %, o que permite o ataque por fungos lenhívoros. As térmitas podem ser um risco adicional nalgumas regiões. Além disso, zonas das peças fora do contacto directo com o solo ou com a água podem ser atacadas por carunchos.
5	O teor em água da madeira excede permanentemente os 20 %. O ataque por organismos marinhos invertebrados é o principal problema. Em água salgada, xilófagos marinhos como o Teredo ou Limnoria podem causar destruições importantes. As zonas de certos elementos situados fora de água, como pilares de estruturas portuárias, estão expostos ao ataque por insectos xilófagos, incluindo térmitas.

#### 4.11.2 EXIGÊNCIAS DE DURABILIDADE SEGUNDO AS CLASSES DE RISCO

Depois de conhecida a durabilidade natural de um elemento e respectiva classe de risco, torna-se necessário efectuar a junção destes dois critérios, e assim obter a duração esperada do elemento, tendo em conta também as condições climáticas envolventes, pormenores construtivos, ventilação, etc. Para efectuar esta ligação entre a capacidade de resistência da madeira e classe de risco definida para as suas condições de utilização, é utilizada a norma “NP EN 460:1995. Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Durabilidade natural da madeira maciça. “Guia de exigências de durabilidade das

madeiras na sua utilização segundo as classes de risco” que, para além disso, permite antever a eventual necessidade de tratamento preservador.

Tabela 4.6 – Exigências de durabilidade de acordo com a classe de risco da madeira.

Classes de risco	Classes de Durabilidade				
	1	2	3	4	5
1	O	O	O	O	O
2	O	O	O	(O)	(O)
3	O	O	(O)	(O) – (X)	(O) – (X)
4	O	(O)	(X)	X	X
5	O	(X)	(X)	X	X

Notas: O=durabilidade natural suficiente; (O)=durabilidade natural normalmente suficiente mas para certas utilizações pode ser recomendado um tratamento preservador; (O) – (X)= a durabilidade natural pode ser suficiente mas em função da espécie de madeira, da sua permeabilidade e do seu emprego final pode justificar se a necessidade de um tratamento preservador; (X)= o tratamento preservador é normalmente recomendado mas para certas utilizações a durabilidade natural pode ser suficiente; X=necessário tratamento preservador.

Para além do exposto na tabela anterior, existe necessidade de atender a outros factores, como por exemplo, no caso de ataque de carunchos; nas condições onde existe um elevado risco de ataque, as espécies de madeira classificadas na “EN 350-2:1994” devem ser tratadas com um produto preservador. No caso de ataque por térmitas, nas situações de serviço em que existe risco de ataque por térmitas, somente o cerne das espécies de madeira classificado na “EN 350-2:1994” como durável (D) ou moderadamente durável (M) em relação a este ataque é que pode ser utilizado sem produto preservador. A opção entre estas duas possibilidades está dependente das exigências definidas à partida, como sejam a função, a utilização final, a duração de serviço esperada e as consequências da rotura. No que se refere aos xilófagos marinhos, a metodologia utilizada é exactamente igual à das térmitas. No entanto, é necessário ter em conta que a escolha da espécie de madeira para utilização numa determinada classe de risco deverá também ter em conta outros factores, tais como a utilização do elemento como suporte de carga, a dificuldade de substituição ou renovação do elemento ou a posição do elemento na construção. Nestas situações, será necessário diminuir a classe de risco, ou diminuir o risco de rotura através de uma prévia protecção de elementos na construção.

Tabela 4.7 – Causas de degradação.

Causas de degradação		
Tipo	Agente	Factores Ambientais
<b>Biológicos</b>	Fungos (podridão seca, podridão húmida, bolores e outros)	Humidade atmosférica e dos materiais
	Bactérias	Movimento do ar
	Actinomicetes	Temperatura
	Líquenes, musgos e algas	Luz
	Larvas de insectos xilófagos (caruncho vulgar, caruncho death watch e outros), caruncho de alcatifas, traças, bibliófagos e térmitas “peixe de prata”	Poeira
		Fonte de Alimentação
<b>Químicos</b>	Ácidos, álcalis e solventes	Poluição
		Tratamentos curativos
<b>Físicos</b>	Abrasão mecânica Desgaste por utilização e outros Decomposição por agentes físicos, tais como o aquecimento, fogo e humidade prolongados	Uso normal
		Desgaste pelos visitantes
		Danos acidentais
		Luz do Sol
		Aquecimento
		Fogo
<b>Radiação</b>	Raios ultravioleta	Humidade
		Luz solar



# 5

## TIPIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES

### 5.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo pretende fazer uma descrição resumida das principais técnicas de intervenção estrutural e de preservação de pavimentos estruturais em madeira em edifícios antigos. Normalmente, este tipo de estruturas carece de reabilitação profunda. Depois de avaliadas as patologias existentes nos variados elementos constituintes dos pavimentos e a respectiva extensão, interessa agora definir quais os processos de intervenção adequados para as situações em causa. Para isso, é necessário definir qual o âmbito da intervenção e profundidade desejada, para posteriormente elaborar planos de análise e decisão na intervenção a efectuar.

Abordam-se as principais técnicas de intervenção estrutural usualmente utilizadas neste tipo de operações, e debatem-se e apresentam-se algumas metodologias de preservação dos elementos contra ataques futuros.

### 5.2 TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO ESTRUTURAL

Quando se procede à inspecção de estruturas de pavimentos de madeira, é comum detectar falhas de segurança e estabilidade. Estas falhas podem dever-se a perdas de secção dos elementos (normalmente associadas a ataques biológicos graves) ou então à perda de capacidade de carga e não satisfação dos Estados Limites de Utilização/Serviço, caracterizados por excessivas deformações e roturas localizadas.

Após a detecção dos problemas que atingem os elementos estruturais dos pavimentos, deverá ser elaborado um plano global de intervenção, a ser preconizado no projecto de reabilitação, acompanhado por estratégias mais aprofundadas para cada caso particular.

As técnicas de reabilitação estrutural são, habitualmente, divididas em dois grandes grupos: as técnicas de reparação ou consolidação e as técnicas de reforço. A primeira tem como objectivo a reposição das

capacidades resistentes dos variados elementos, enquanto que as segundas pretendem diminuir ou limitar as deformações e aumentar a capacidade de carga dos mesmos.

Deverá ser realçado que, para qualquer tipo de problema estrutural, existem sempre inúmeras técnicas de intervenção. A escolha da técnica mais adequada deverá ser feita tendo em conta variados factores, tais como os objectivos da intervenção, os custos, o grau de degradação e as vantagens e desvantagens de cada uma delas.

De seguida, são enumeradas as principais técnicas utilizadas na reabilitação de pavimentos:

i) **Técnicas tradicionais**

- a) Aplicação de empalmes e talas de madeira (figuras 5.1 e 5.2);
- b) Correção de fendas por cintagem;
- c) Correção de fendas por parafusos;
- d) Reforço através da colocação de próteses metálicas;
- e) Adição de novos elementos para reforço estrutural.

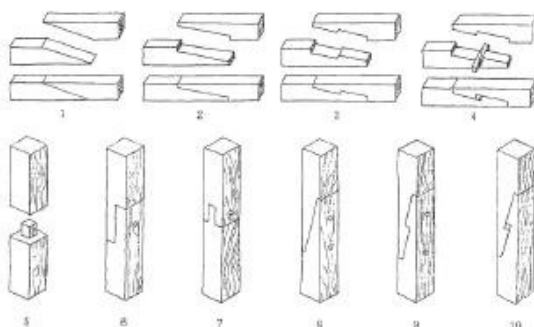


Fig. 5.1 – Próteses de topo em elementos de madeira [CECCOTI, A, 1998].

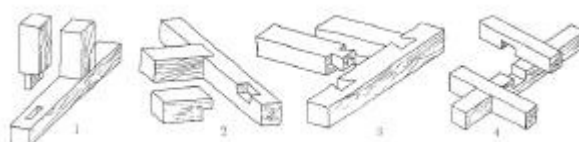


Fig. 5.2 – Ligações de samblagem em elementos de madeira [adaptado de CECCOTI, A, 1998].

ii) **Técnicas modernas**

- a) Reforço com produtos de epóxico;
  - 1 – Correção de fendas com adesivo de epóxico;
  - 2 – Correção de fendas com adesivo de epóxico e varões de reforço;
  - 3 – Reforço de vigas de madeira com compósitos FRP;
  - 4 – Recurso a argamassa de epóxico para aumento da inércia das vigas.

iii) **Reparação ou substituição parcial de secções de madeira**

- a) Colocação de uma armadura distribuída na madeira para consolidar descontinuidades;
- b) Reforço de ligações de topo entre elementos de madeira;
- c) Reforço de ligação entre peças com elementos de madeira, cavilhas e resina de epóxico;
- d) Substituição dos apoios deteriorados por argamassas à base de resinas de epóxico, armadas com varões de aço;
- e) Substituição dos apoios deteriorados por peça igual do mesmo material.

iv) **Técnicas de aplicação de pré-esforço e tirantes de aço**

v) **Outras técnicas tais como o reforço com betão, uniões de madeira colada, com estruturas internas, etc.**

### **5.3 TÉCNICAS CORRENTES DE INTERVENÇÃO ESTRUTURAL**

Neste ponto, são enumerados os problemas e as respectivas intervenções correntes de reparação realizadas em processos de reabilitação de estruturas de pavimentos de madeira. Dependendo dos problemas, bem como da sua extensão nas peças pertencentes às estruturas, a opção pela melhor solução de intervenção prende-se com vários factores externos e com o âmbito de aplicação da referida intervenção.

#### **5.3.1 SECÇÃO INSUFICIENTE**

Esta situação é detectada quando se verifica que os elementos apresentam deformações excessivas, ou quando são visíveis roturas locais na estrutura do pavimento. É comum haver uma redução da secção dos elementos devido a ataques biológicos, ou um decréscimo da capacidade de carga, resultante de possíveis defeitos da madeira em causa. Estas situações poderão provocar uma falta de resistência do pavimento às cargas variáveis e, em casos mais graves, às cargas permanentes. A secção insuficiente pode ainda estar associada ao aumento das sobrecargas associadas a mudanças de uso.

##### **5.3.1.1 Reforço através do Aumento de Secção dos Elementos**

É usual existirem problemas de deformações em elementos quando estes não têm secção suficiente para as cargas que sobre si actuam. Frequentemente, são adicionadas novas peças que se encontram ligadas ou intercaladas com as originais. Estas tornam-se, por vezes, difíceis de aplicar, devido ao facto de os elementos com problemas apresentarem já grandes deformações permanentes, ao passo que as novas têm formas lineares.

O aumento de secção dos elementos de madeira é realizado através da pregagem ou do aparafusamento, e raramente pela colagem de peças de madeira aos elementos existentes.

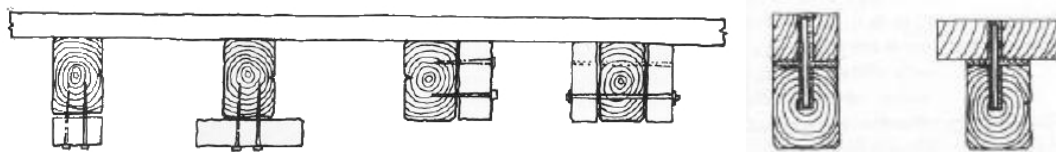


Fig. 5.3 – Alguns tipos de reforço recorrendo a um aumento de secção (Arriaga; 2002).

Este é um método utilizado no reforço e na consolidação de elementos de estruturas de madeira com secção reduzida, com deformações excessivas, com fendas de grande dimensão, com degradações devido a incêndios e/ou ataques biológicos. São utilizados pregos, pernos ou parafusos de aço inoxidável, aço galvanizado ou protegidos contra a corrosão, para unir os novos elementos de madeira aos degradados.

Quando se pretende aumentar a inércia dos elementos, é usual colocar as novas peças de madeira na sua parte superior. Estas podem ter a largura dos existentes (para o caso do pavimento ficar à vista), ou uma largura maior e, assim, originar vigas em “T”. Se este facto ocorrer, deverão ser previstos ligadores de absorção de esforços de corte, em toda a extensão das vigas.

É um método que apresenta algumas vantagens, nomeadamente o facto de ser pouco intrusivo. A grande desvantagem prende-se com as dificuldades de implantação, devido ao facto dos elementos novos terem deformações e teores em água diferentes dos antigos.

#### 5.3.1.2 Reparação por Substituição de Elementos Estruturais

Dependendo da grandeza das deformações registadas, pode surgir a necessidade de proceder à substituição de um determinado elemento, ou até mesmo da estrutura global de um pavimento. Estas substituições podem ser realizadas com novos elementos de madeira, com elementos em madeira lamelada-colada, ou ainda por outros, construídos com argamassa de epóxico e varões de fibras.

A ocorrência de problemas de degradação grave em elementos estruturais de madeira é usual em edifícios antigos. Por vezes, o seu estado já não permite uma reabilitação dos mesmos, sendo, por isso, a única solução passível de ser usada, a sua própria substituição. Sempre que se proceder à substituição de vigas em pavimentos, o procedimento deverá ser o seguinte (de acordo com Hoirish et al.;2006):

- Remoção do soalho e escoramento de vigas adjacentes à zona de substituição;
- Remoção da viga ou vigas degradadas e tratamento das outras contra agentes bióticos;
- Abertura de possíveis buracos nas paredes de alvenaria, de forma a permitir o apoio dos novos elementos, devidamente protegidos contra humidades;
- Instalar a nova viga, assegurando as devidas condições de nivelamento, rigidez e distribuição de carga pelo elemento;
- Preenchimento de aberturas nas alvenarias com argamassas (sempre garantindo uma devida ventilação), e aplicação do soalho.

Para além desta metodologia, surge, por vezes, a necessidade de substituir todo o pavimento, mas de forma a não alterar significativamente o valor patrimonial do edifício. Assim, é usual manter o pavimento antigo de madeira (função estética) e proceder a uma alteração funcional deste (podendo



ser feito através da instalação de uma lajeta de betão, uso de perfis metálicos, etc.), conservando, assim, o seu aspecto inicial.

Esta é uma solução muito boa, dado que provoca uma reduzida alteração no funcionamento da estrutura, bem como na sua aparência. A principal desvantagem da sua utilização é a que resulta da diferença de rigidez e de deformação dos novos elementos estruturais, o que até pode constituir em muitos casos uma vantagem (desde que esse facto não interfira na estabilidade das paredes, sobretudo às acções horizontais).

### 5.3.1.3 Reforço através da Aplicação de Empalmes

Esta técnica é utilizada quando os elementos estruturais se encontram partidos ou fissurados em zonas do vão. São aplicados nestas zonas novos elementos de madeira, de um ou de ambos os lados do elemento a reforçar, fazendo a ligação entre eles por meio de parafusos e porcas. Por norma, os elementos novos a utilizar têm altura igual à dos elementos já existentes, e um comprimento que assegura a sua ligação a zonas não degradadas dos elementos antigos (figura 5.4).

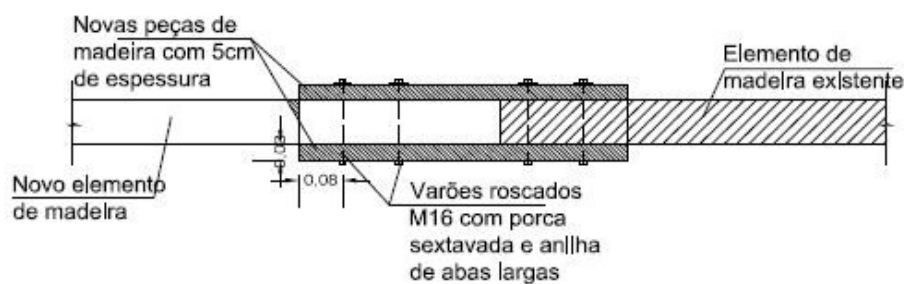


Fig. 5.4 – Exemplo de introdução de novos elementos para substituir elementos degradados (em planta).

As novas peças podem ser ligadas às antigas através de empalmes denteados, e com a ajuda de varões de reforço colados com argamassa de epóxido. Esses varões são colocados nas vigas ou barrotes, quando a estes sofrem sobre-tensões, de forma simétrica ou oblíqua, tal como se indica na figura 5.5.

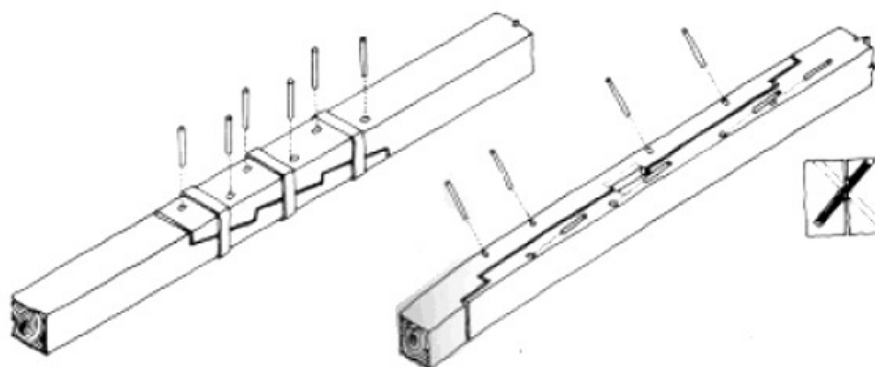


Fig. 5.5 – Reforço com cintas metálicas e cavilhas (Arriaga, F., 2002).

Por vezes, as ligações entre elementos são realizadas utilizando apenas cavilhas como principais peças de união. Para que isso seja possível, é necessário assegurar algumas condições, tais como:

- Utilizar madeira de alta resistência mecânica;
- Calcular o número e dimensões das cavilhas;
- Dimensionar, tendo em conta as cavilhas a trabalhar ao corte;
- Evitar próteses com defeitos;
- Colocar cavilhas afastadas das fissuras.

Outras das soluções propostas por (Mettem;1993), são as dos cortes oblíquos fixados por meios mecânicos, mas estes demonstram pouca eficácia quando os esforços de flexão são altos. Assim, estes só deverão ser utilizados em zonas de apoio, dado que é aí que os valores de flexão são mais baixos. Ainda segundo o mesmo autor, a solução mais eficaz é a do uso do empalme com corte vertical oblíquo e ferrolhos metálicos (imagem A da figura 5.6), enquanto que a solução menos eficaz será a do uso do empalme com corte oblíquo à face superior e espigas de madeira (imagem B da figura 5.6).

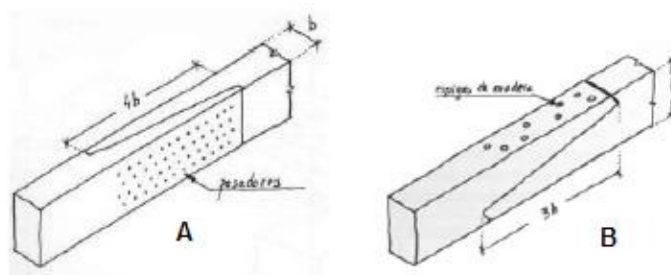


Fig. 5.6 – Reforço com entalhes segundo estudo de Mettem (Arriaga, F., 2002).

Podem também ser usadas, como material de ligação entre os elementos, as colas. Segundo (Landa;1997,1999), a solução mais eficaz consiste no uso de um empalme com um corte oblíquo na vertical (imagem A da figura 5.7), enquanto que a menos eficaz resulta do uso de um empalme de caixa e espiga recta (imagem B da figura 5.7).

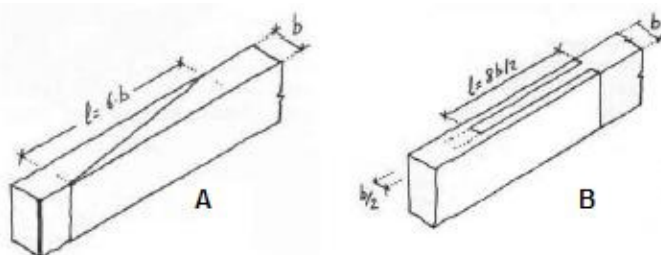


Fig. 5.7 – Reforço com entalhes segundo estudo de Landa (Arriaga, F., 2002).

O reforço de estruturas de madeira usando empalmes é preferencialmente usado em estruturas danificadas por ataques biológicos, fendilhações, deformações exageradas ou roturas por esforços desadequados. São utilizados pregos e parafusos de aço, para além de cavilhas de madeira (tratadas e de alta aderência) e peças de madeira tratada e devidamente seca.

#### 5.3.1.4 Aplicação de Resinas de Epóxico e Varões Embebidos para Reforço

Este método consiste na realização de aberturas/entalhes na madeira, para que nela possam ser inseridos, e embebidos em resinas de epóxico, elementos metálicos ou de fibra de vidro. É desejado que as duas partes trabalhem solidárias e, por isso mesmo, este deve ser bem executado, e com as dimensões perfeitas de ancoragem. A resina de epóxico, que é mais económica que a resina pura, tem características mecânicas suficientes para garantir a formação de um conglomerado (juntamente com outras partículas finas), que permitirá uma eficiente união e uma baixa dilatação térmica.

Por vezes, esta técnica é usada para aumentar a inércia de vigas em pavimentos, quando estas se encontram com secção útil reduzida, traduzida em altas deformações. Para isso, é efectuado um reforço com argamassa de epóxico, que consiste na realização de entalhes numa das faces horizontais da viga, seguido da introdução de varões de aço/fibra de vidro (para aumentar a solidarização) nesses entalhes e, por fim, preenchimento com argamassa de epóxico (de endurecimento lento e sem retracção). Estas intervenções não originam problemas de aderência nem de retracção.

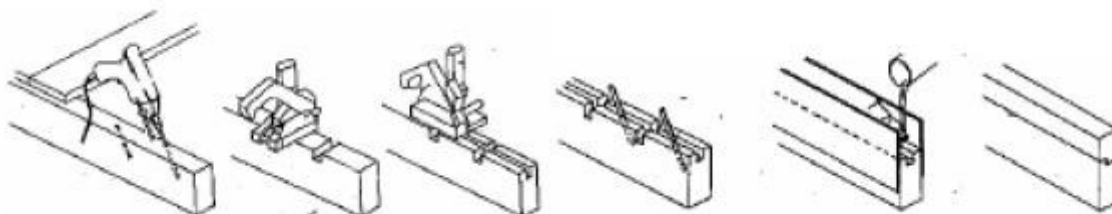


Fig. 5.8 – Aplicação de argamassa de epóxico para o aumento de inércia de vigas (Arriaga, F., 2002).

A execução destes trabalhos deve ser realizada assegurando previamente que o escoramento da viga esteja bem executado e que as suas deformações estejam anuladas. A intervenção deve ser feita em toda a extensão da viga, inclusive nas zonas de apoio, através da realização de furos que respeitem as seguintes condições:

- afastamento mínimo entre armaduras – cerca de 9 cm;
- afastamento mínimo entre a armadura e a face da viga – cerca de 6 cm;
- comprimento mínimo de ancoragem do varão na argamassa de epóxico – cerca de 15 cm;
- comprimento mínimo de ancoragem do varão na madeira – cerca de 30 cm.

Para a colocação de armadura são utilizados, por vezes, espaçadores, para que os varões não se movam com a colocação da argamassa. A cofragem deve ser feita adoptando soluções lisas, que são removidas posteriormente (no caso de a viga não ficar visível), ou com uma cofragem perdida, do mesmo tipo de madeira da viga original. O carregamento da viga só deverá ser efectuado passados sete dias no mínimo.

Esta é uma técnica eficaz no tratamento de vigas de madeira, dado ser também pouco intrusiva. Por outro lado, é uma técnica dispendiosa, exigindo mão-de-obra especializada e alterando a distribuição de esforços nos elementos (devido à introdução de materiais diferentes dos originais).

### 5.3.1.5 Reforço com Laminados de Fibra de Carbono ou Chapas de Aço

Método que consiste no reforço do elemento de madeira através de um adesivo, para que a peça possa suportar determinadas solicitações, ou então, face às solicitações existentes, não se deforme mais do que o esperado. A aplicação da manta ou do laminado de FRP é embebida no adesivo, na parte traccionada da viga, ou na parte traccionada e comprimida, simultaneamente.



Fig. 5.9 – Viga reforçada com compósitos de FRP.

A execução deste método consiste em algumas etapas essenciais, que são as seguintes:

- Executar cortes com serra eléctrica com dimensões de 12,5 mm de comprimento, 60 mm de profundidade e 800 mm de comprimento;
- Limpar bem esses cortes com aspirador industrial ou com pistola de pressão de ar;
- Controlar possível existência de fissuras e repará-las;
- Injectar o adesivo nas aberturas;
- Introduzir os laminados de CFRP ou as chapas metálicas;
- Injectar novamente cola para eliminar possíveis vácuos (cola mais fluída);
- Limpar excesso de adesivo da superfície do elemento.

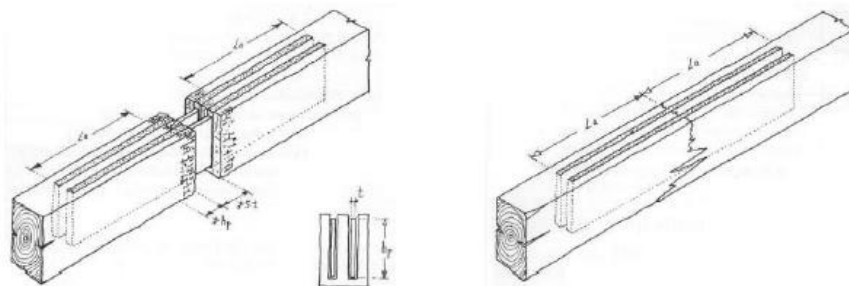


Fig. 5.10 – Aplicação de placas de reforço em vigas seladas com cola epoxídica (Arriaga, F., 2002).

A realização deste tipo de operações exige um controlo de temperatura rigoroso. Assim, recomenda-se para este método uma temperatura ambiente a rondar os 15°C, evitando, assim, baixas temperaturas que poderiam causar a não polimerização da cola, bem como as altas temperaturas, frequentemente causadoras de uma secagem da cola demasiado rápida.

Actualmente, é usual ver novos sistemas de laminados, nomeadamente o uso de fibras de carbono embebidas em resina de epóxico. Por norma, usam-se estes laminados com a função de armadura de tracção em peças de madeira, sendo, por isso, colocados em ranhuras na parte inferior da secção.

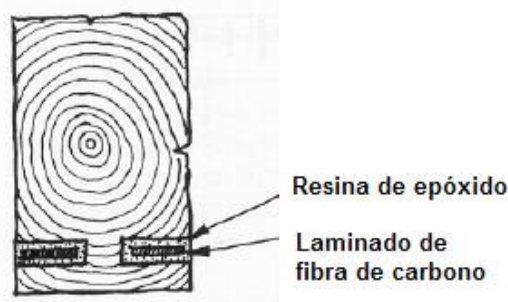


Fig. 5.11 – Peça reforçada com laminado de fibra de carbono (adaptado de Arriaga, F., 2002).

Por vezes, quando estes elementos ficam visíveis na estrutura, é usada uma peça de madeira para tapar a superfície da resina de epóxico. Estas peças são pressionadas até que o adesivo venha à superfície, e as cavidades estejam devidamente preenchidas.

### 5.3.2 DEFORMAÇÕES EXCESSIVAS

Este é um problema tipicamente originado pelos efeitos de fluência, pela colocação de peças ainda verdes, presença de defeitos na madeira ou ainda devido a secção insuficiente dos elementos (face aos esforços de flexão a que a peça está sujeita). Frequentemente, estas deformações excessivas acabam por resultar em roturas a longo prazo.

Este tipo de patologias pode ser limitado ou até mesmo eliminado, através da adopção de medidas preventivas, tais como:

- Boa secagem das madeiras antes da colocação em obra;
- Controlo do grau de humidade e das condições de serviço previstas;
- Dimensionamento efectuado tendo em conta os estados limites de utilização (deformações);
- Isolamento térmico com os outros elementos.

A zona de meio vão é, sem dúvida, a zona onde se detecta maior apetência para o aparecimento de anomalias, devido aos esforços de flexão. A ocorrência de grandes deformações a meio vão pode ter origem em patologias do material, mas também em outras, tais como a variação da intensidade ou aplicação das cargas, o espaçamento exagerado entre as vigas, e as deficiências de dimensionamento das secções e tarugamento em projecto.

Os apoios das vigas nas paredes do edifício devem garantir, por um lado, que haja movimentos dos elementos previamente previstos no projecto e, assim, garantir que não se gerem impulsos desfavoráveis nas paredes e, por outro lado, que não se criem situações de instabilidade. Apesar disso, o surgimento de deformações excessivas pode provocar graves danos na estrutura do pavimento, afectando a sua utilização e o seu aspecto.

### 5.3.2.1 Colocação de Escoras de Suporte

A colocação de escoras tem como objectivo a redução dos esforços actuantes nos elementos estruturais dos pavimentos. Por vezes, nomeadamente em pavimentos de pisos térreos, é comum utilizar-se escoras em madeira (devidamente protegidas à humidade) apoiadas no terreno, e a meio vão dos barroteis ou das vigas. Estas escoras deverão ser dimensionadas para resistir aos esforços de compressão a que vão estar sujeitas, e todo o cálculo de esforços da estrutura deverá ser revisto devido à introdução desses elementos.

A redução do vão dos elementos estruturais vai, de facto, ajudar na redução das deformações da estrutura. Através da colocação de elementos de suporte ligados aos elementos estruturais, por nós realizados por samblagem ou através de pontes de equilíbrio, haverá uma transmissão de esforços entre elementos e, ao mesmo tempo, um impedimento à deformação do elemento estrutural.

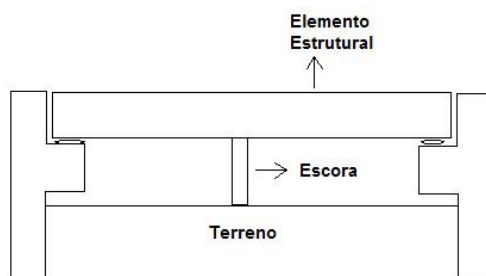


Fig. 5.12 – Exemplo simplificado da utilização de escoras em pavimentos.

Este é um tipo de intervenção fácil e económico, a utilizar em casos de deformações exageradas ou em caso de secção insuficiente devido a cargas, ataques biológicos ou por outro tipo de problemas. Os novos elementos a adicionar deverão ser, de preferência, da mesma espécie lenhosa do resto da estrutura, e deverão estar devidamente tratados e secos. No caso de estes ficarem em contacto com o solo, deverão ser criadas condições para protecção contra os agentes patológicos. A grande desvantagem deste método é a alteração dos esforços na estrutura, do funcionamento e da estética da mesma.

Outra solução comum de introdução de escoras em pavimentos é a criação, através de um entalhe ou de um peça que permita a transmissão de cargas horizontais (Arriaga;2002), de um ponto de encaixe da escora na viga. As cargas são descarregadas nas paredes e, por isso mesmo, estas últimas devem estar dimensionadas para resistir a estas cargas (nomeadamente as horizontais).

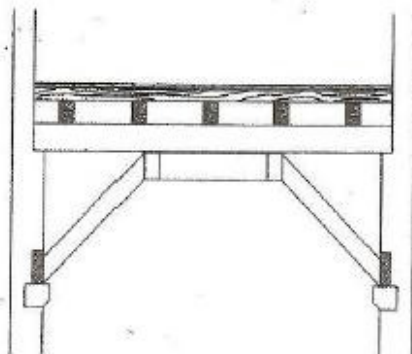


Fig. 5.13 – Escoras de apoio a vigas de pavimento (Carrió;1998).

### 5.3.2.2 Utilização de Tirantes Metálicos para Reforço

Este tipo de solução (não tão frequente em pavimentos) pode ser utilizado para a redução de deformações em vigas ou barrotos de grande vão. A colocação de tirantes metálicos na parte inferior das peças permite melhorar o estado de tensão na madeira e aumentar a inércia das mesmas, ficando assim o tirante traccionado e o elemento estrutural comprimido (figura 5.14).

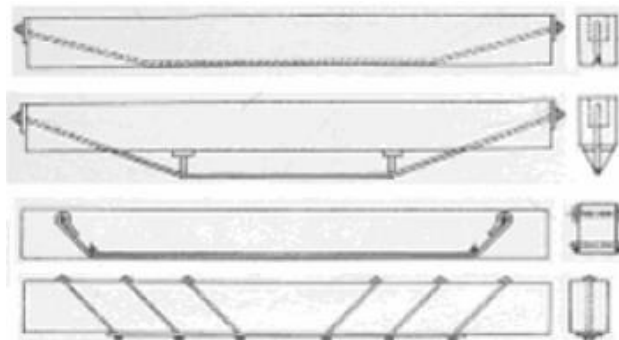


Fig. 5.14 – Tipos de tirantes metálicos com esticadores de aço para reforço de vigas (Arriaga;2002).

A utilização de tirantes metálicos é uma solução fácil de usar, e permite aumentar simultaneamente a capacidade de carga da viga (embora não significativamente, segundo Arriaga;2002), tendo como única grande dificuldade a colocação dos tirantes nas extremidades dos elementos que, em alguns casos, se torna de difícil execução exigindo, por vezes, o desmonte da viga. Apesar disso, é uma solução reversível, ou seja, para o caso em que já não seja necessária, poderá ser facilmente removida.

No caso de a reparação a efectuar se dever às deformações permanentes da estrutura, torna-se vantajoso a aplicação de um pré-esforço exterior em conjunto com os tirantes. Na aplicação deste tipo de solução, deve primeiro escorar-se o elemento estrutural e de seguida aplicar os reforços metálicos. Depois, se possível, aumentar a altura da peça de forma a aumentar a sua inércia e, por fim, retirar o escoramento.

A aplicação de pré-esforço neste tipo de intervenção pretende criar uma contra-flecha no elemento para, assim, anular a deformação existente na peça e contrariar todas as acções externas de sentido oposto. Esta solução permite que a viga passe a trabalhar à flexão composta, através da introdução do esforço de compressão, apesar do momento-flector ser inferior. Após o escoramento da peça, são colocados os elementos metálicos no vão (garantindo sempre a protecção destes contra o fogo) e, posteriormente, é colocado em tensão o sistema de pré-esforço (figura 5.15).

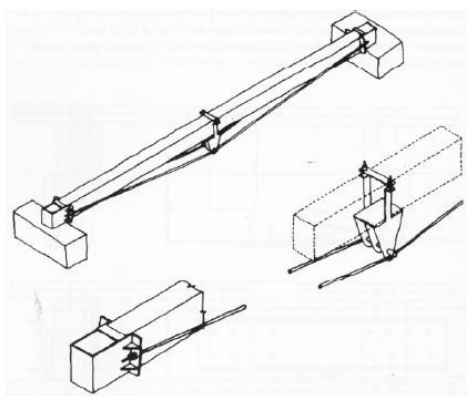


Fig. 5.15 – Aplicação de tirantes pré-esforçados para reforço estrutural (Arriaga, 2002).

No reforço de estruturas de madeira usando varões e chapas de ancoragem de aço (galvanizadas ou devidamente protegidas contra o fogo e a corrosão), a grande vantagem é a pouca intrusão na estrutura existente e um grande aproveitamento dos materiais existentes. Por outro lado, existem inconvenientes, tais como a necessidade de técnicos especializados, a necessidade de grandes espaços, e a introdução de materiais diferentes da madeira, causando assim, acima de tudo, um mau aspecto visual.

### 5.3.2.3 Introdução de Barras de Reforço Seladas com Cola Epoxídica

Este método consiste na introdução de varões ou cavilhas de aço inox ou de FRP nos elementos de madeira e, de seguida, em selá-los com cola epoxídica. Através da utilização desta solução é possível aumentar a rigidez dos elementos, reduzindo as suas deformações.

Existem três formas de aplicação dos varões: inclinados, alinhados com o fio da madeira, ou longitudinalmente na parte inferior da peça. Em qualquer um dos casos deverá ser assegurado um bom comprimento de amarração dos varões à madeira sã, e uma adequada escolha do tipo de varões a utilizar.

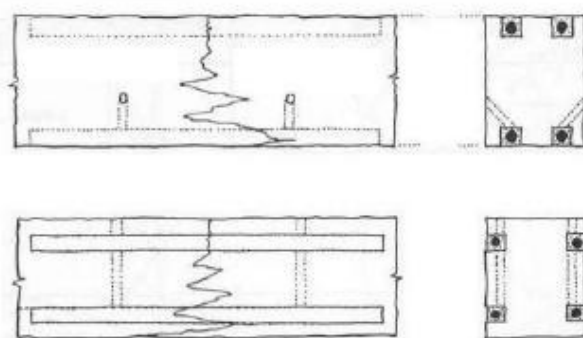


Fig. 5.16 – Reforço com barras horizontais (Arriaga, F., 2002).

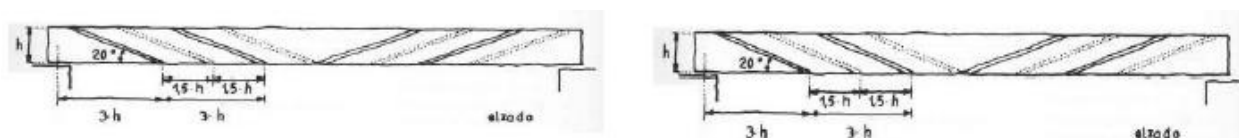


Fig. 5.17 – Reforço com barras inclinadas (Arriaga, F., 2002).

Para além destas técnicas atrás descritas, é por vezes utilizado um sistema de treliça interna ao elemento de madeira. Esta técnica permite uma redução eficaz da propagação das fendas, absorção de esforços de corte e reforço das zonas de compressão e de tracção. A metodologia de aplicação da técnica consiste na introdução de cola epoxídica, seguida da introdução dos varões de reforço (com inclinação de  $30^\circ$  em relação ao eixo da viga); por último, injecta-se a cola mais fluida para que possíveis vazios existentes possam ser colmatados.



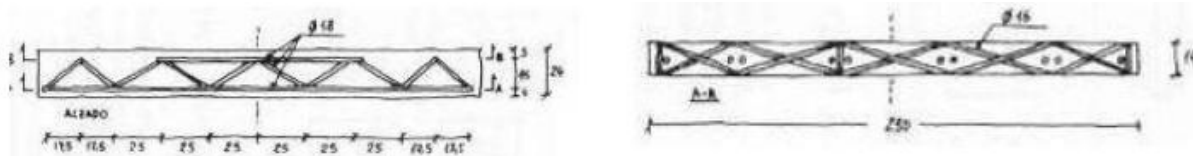


Fig. 5.18 – Alçado e planta da utilização de treliça com barras de fibra de vidro (Cigni;1981).

O sistema de treliça é poucas vezes utilizado, dado ser demasiado intrusivo e de difícil execução. Apesar disso, é de salientar a sua grande eficácia quando devidamente executado, uma vez que existe um pleno reforço das zonas traccionadas e comprimidas. Estudos efectuados permitem dizer, com alguma certeza, que este método permite ganhos consideráveis em termos de aumento de tensão de rotura e de diminuição de deformação.

#### 5.3.2.4 Uso de Mantas, Tecidos ou Telas FRP para Envolvimento de Elementos

Por vezes, de forma a colmatar possíveis zonas críticas de rotura, os elementos são envolvidos por mantas ou tecidos, efectuando assim uma cintagem que permite confinar a secção e aumentar a sua capacidade resistente.

Este método, segundo (Cruz et al;2000), consiste na aplicação de um primário na peça, seguido da aplicação de uma cola epoxídica e, finalmente, do envolvimento de duas ou mais camadas de fibra de vidro (mais usual). É um método bastante usado no reforço local de zonas de ligação mecânica entre elementos de madeira, aumentando a sua resistência e ductilidade. A sua aplicação deve ser cuidada, de forma a que a ventilação dos elementos de madeira continue a efectuar-se de forma eficaz.

#### 5.3.2.5 Reconstrução das Vigas Através de Cola Epoxídica

Por vezes, as vigas têm secção insuficiente e precisam de maior inércia para resistir aos esforços a que estão sujeitas e, assim, reduzir o nível de deformações. Deste modo, a reconstrução das vigas através de cola epoxídica surge como um método bastante eficaz na resolução deste problema. A sua execução consiste no cumprimento dos seguintes passos:

- Execução de entalhes transversais à viga; Na zona de apoios menos espaçados, aumentando na zona de meio vão;
- Introdução de elementos de ligação (barras em aço inox ou de fibras de vidro/poliéster);
- Colocação de cofragem;
- Enchimento com cola epoxídica.

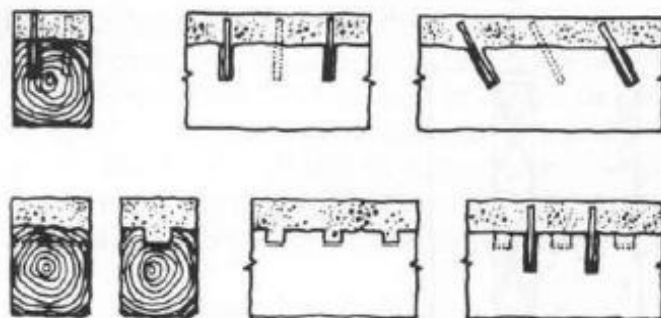


Fig. 5.19 – Reconstrução da parte superior de viga com cola epoxídica e ligadores (Arriaga;2002).

É um método bastante eficaz, tendo apenas como grande desvantagem o gasto exagerado de cola e logo o custo associado, que é sempre muito elevado.

### 5.3.3 PROBLEMAS NOS APOIOS

As zonas de apoio são, naturalmente, zonas propícias a sofrerem patologias. Aqui, a possibilidade de ocorrerem elevados níveis de humidade e respectivos ataques biológicos é alta e, assim, é frequente as secções dos elementos aparecerem reduzidas nestas zonas, existindo roturas ao corte ou deficiente apoio dos elementos.

Quando se localizam degradações nas zonas de apoio, é fundamental intervir, dado que são zonas fundamentais para o funcionamento da estrutura do pavimento, bem como para o funcionamento global do edifício. Segundo (Appleton;2003), a existência de problemas de ligação entre pavimentos e as paredes resistentes é duplamente negativa, visto que estes trazem problemas de segurança nos edifícios, tanto para as acções verticais como para as horizontais (nomeadamente as sísmicas).

A forma mais eficaz de actuar nestas situações é, claro está, a substituição integral da peça, dependendo do grau de deterioração do elemento. Apesar disso, existem diversas técnicas de intervenção, para estes casos, variando o seu sucesso com o tipo e grau de deterioração do elemento, que deverão ser criteriosamente escolhidas e devidamente compatibilizadas com a disposição existente.

#### 5.3.3.1 Introdução de Frechal de Madeira Assente em Cachorros de Pedra

Esta é um método pouco utilizado em processos de reabilitação de pavimentos, sendo bastante mais usual na reabilitação de coberturas. É um processo construtivo bastante utilizado em certos tipos de edifícios anteriores ao século XX, e poderá ser utilizado quando se trata de reconstruir um edifício de raiz.

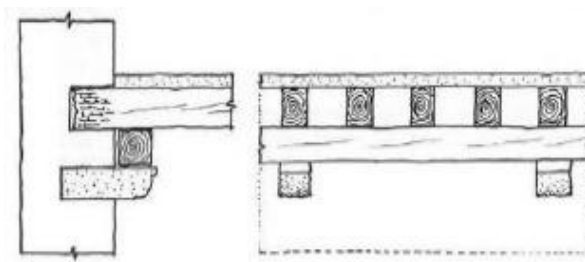


Fig. 5.20 – Frechal de madeira apoiado em cachorro de granito (Arriaga;2002).

Usualmente, para a realização deste método, é necessário abrir cavidades nas paredes resistentes e, por isso mesmo, dado que as paredes da maioria dos edifícios antigos têm pouca espessura, é em geral pouco usado. Por outro lado, a introdução de cargas com excentricidade nas paredes poderá provocar graves esforços de flexão, que resultam em roturas inesperadas. Assim, para uma boa concretização deste método, deverão contemplar-se medidas de segurança, tais como: - ter atenção a paredes meias e possibilidade de abrir rasgos nestas; - realizar apenas em paredes de boa qualidade; - executar bem as ligações cachorro/parede, frechal/cachorro e vigas/frechal; - proteger o frechal contra agentes bióticos.

### 5.3.3.2 Introdução de Frechal de Betão Armado no Interior da Parede

Esta é outra solução pouco usual, visto ser altamente intrusiva e utilizar um material completamente distinto da madeira dos pavimentos e da pedra das paredes resistentes. Assim, a ocorrência de incompatibilidades e o seu alto impacto visual (excepto quando existem tectos falsos que ocultam a intervenção) fazem com que esta solução não seja a mais aconselhada. Além disso, provoca graves danos nas paredes resistentes, e a introdução de excentricidades de carga nelas poderão originar roturas.

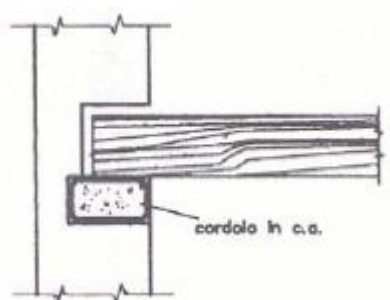


Fig. 5.21 – Frechal de betão armado (Lombardo et al;1997).

### 5.3.3.3 Utilização de Cantoneiras Metálicas

Este método consiste na utilização de uma cantoneira metálica como reforço dos apoios do pavimento. A cantoneira é aparafusada à parede com recurso a parafusos ou buchas, e é nela que vão assentar as vigas estruturais do pavimento. Este é um método menos intrusivo que os relatados anteriormente, embora vá existir, do mesmo modo, uma excentricidade de carga, apesar de esta ser mais distribuída. O grande inconveniente na utilização de cantoneiras metálicas reside no facto de estas ficarem

visíveis, não podendo ser utilizadas quando se efectua o restauro dos tectos que são assim mantidos e preservados, não permitindo o acesso à parte inferior dos pavimentos.

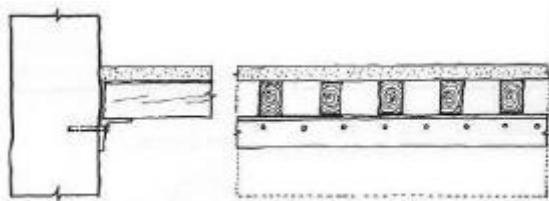


Fig. 5.22 – Cantoneira metálica servindo de apoio ao vigamento (Arriaga;2002).

Para que este método seja bem utilizado, a ligação entre a cantoneira e a viga tem de ser bem realizada. Por vezes, são utilizados outros elementos conjuntamente com as cantoneiras, que envolvem lateralmente as vigas e, assim, permitem um melhor comportamento do conjunto. É uma técnica mais frequente que as anteriores, dado não haver qualquer tipo de incompatibilidade de materiais.

#### 5.3.3.4 Utilização de Novas Peças de Madeira Conjuntamente com as Antigas

Esta solução consiste na utilização de novos elementos de madeira em boas condições, ligados às antigas peças através de pernos, parafusos, pregos, chapas e cintas metálicas. A eficácia desta é definida através da relação entre a capacidade de carga da peça reparada e a da peça original, podendo esta ser em relação à flexão ou em relação à rigidez.

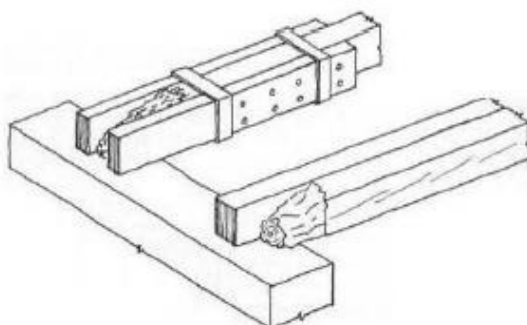


Fig. 5.23 – Utilização de novas peças de madeira de reforço (Arriaga;2002).

Para haver uma boa transmissão de esforços entre os elementos, é necessário garantir um bom comprimento de sobreposição. Quanto à sua altura, estes devem ser da mesma altura que a viga antiga (Cruz;1993), enquanto que a largura deverá ser igual ou superior a metade da espessura da antiga viga (Appleton;2003).

A grande vantagem deste método é a não necessidade de remoção de elementos e de escoramento dos pavimentos. É essencialmente utilizado em elementos partidos, fissurados ou enfraquecidos, de forma a restabelecer a capacidade de carga desejada. Deverão ser usadas madeiras e tratamentos preservadores avançados, dado que os novos elementos estarão em contacto directo com os elementos degradados.

### 5.3.3.5 Fixação de Chapas e Perfis Metálicos

A utilização de chapas e perfis metálicos em soluções de reabilitação/reforço é bastante usual e eficaz. Estes elementos são fixados às peças através de pernos ou parafusos de porca à parte sã da madeira, evitando assim a remoção de material degradado.

Segundo (Duarte;2004), a utilização destas peças metálicas de reforço dos elementos de madeira origina uma viga mista com capacidades superiores à situação previamente existente. No entanto, ao longo do tempo, esta solução perde grande capacidade de carga e pode sofrer grandes deformações. A grande desvantagem desta solução é o impacto visual que provoca, sendo por isso usada, na maioria dos casos, quando estes elementos se encontram escondidos.

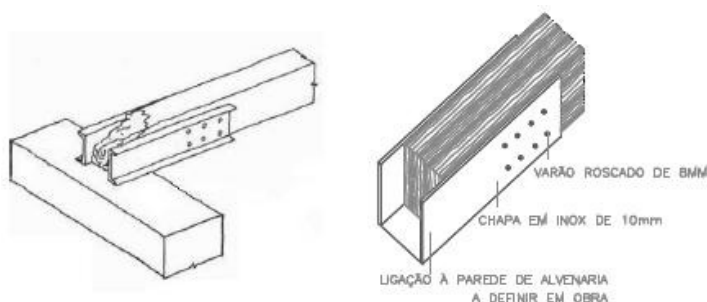


Fig. 5.24 – À esquerda utilização de perfil metálico (Arriaga;2002) e à direita uso de chapa metálica para reforço (Costa et al;2008).

### 5.3.3.6 Introdução de Elementos Metálicos no Interior de Secções

Este método consiste na remoção da parte degradada da madeira e na execução de um corte na parte sã, onde irão ser introduzidos elementos metálicos de reforço. É comum serem usadas chapas metálicas que, por sua vez, serão tapadas com novos elementos de madeira, para haver uma boa protecção ao fogo destes elementos.

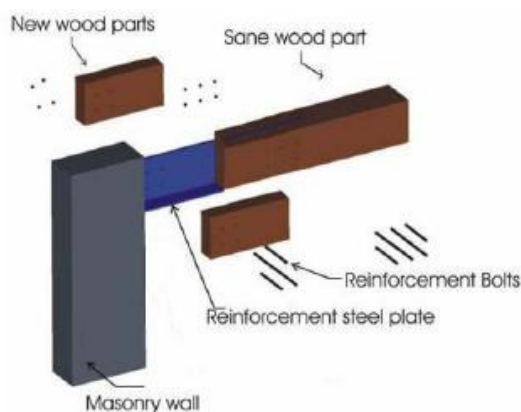


Fig. 5.25 – Elemento metálico inserido na peça de madeira como reforço (Ilharco et al.;2007).

É um método bastante eficaz e, por isso mesmo, bastante usado no tratamento das zonas de apoio das vigas. É importante assegurar um bom comprimento de ancoragem para que a peça metálica possa assumir toda a resistência necessária ao reforço.

### 5.3.3.7 Reforço de Apoios Comuns em Pavimentos Contínuos Biapoiados

Por vezes, as vigas dos pavimentos partilham com outras o mesmo apoio estrutural e, por isso mesmo, devem ser reforçadas essas ligações de forma a permitir uma maior rigidificação do nó, bem como a diminuição de flechas, para isso, são utilizados, normalmente, elementos metálicos fixados às vigas.



Fig. 5.26 – Reforço de ligação entre vigas em apoio comum, Casa do Infante, Porto (Dias;2008).

### 5.3.3.8 Utilização de Varões Metálicos ou de FRP Selados com Cola Epoxídica

Na zona dos apoios, é comum o aparecimento de podridões e de ataques bióticos. Uma das soluções actualmente mais usadas é a substituição das zonas degradadas por uma argamassa de epóxido, que se liga à madeira existente por varões em aço inox ou de FRP.

A execução deste método consiste na colocação de argamassa, em substituição da parte da madeira degradada que, por sua vez, será ligada por varões à madeira sã, utilizando cofragens perdidas que servem de protecção ao fogo no futuro. Apesar disso, se a zona degradada for muito grande, então deverá proceder-se à substituição desta por um novo elemento de madeira que será ligado à parte sã do elemento existente através de varões de aço ou em material compósito, deixando uma junta de contacto que será preenchida com cola epoxídica.

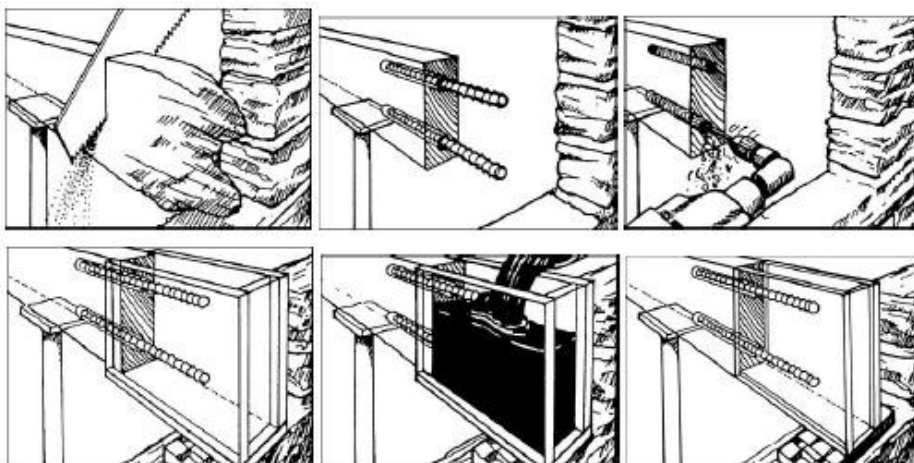


Fig. 5.27 – Execução de corte da zona degradada e realização de prótese de epóxido (ROTAFIX;2007).

Segundo (Appleton;2003), o dimensionamento da quantidade de argamassa necessária é dispensado, sendo, por isso, apenas necessário dimensionar os varões de aço ou fibra de vidro de forma a que estes consigam resistir a pelo menos 50 % dos esforços a que aquela secção vai estar exposta.

A utilização deste método (apesar de ser mais comum nos apoios) poderá ser também utilizado em qualquer outra parte dos elementos. O procedimento habitual na sua realização é o seguinte:

- 1 – Escoramento da viga ou outro elemento a intervir;
- 2 – Remoção das zonas degradadas;
- 3 – Realização de furos e entalhes na parte sã da madeira;
- 4 – Limpeza dos furos com jacto de ar ou aspirador;
- 5 – Preenchimento dos furos com cola epoxídica;
- 6 – Introdução dos varões acompanhados de um movimento de rotação (para evitar bolhas de ar);
- 7 – Caso a opção seja a substituição do elemento por argamassa, deverão ser colocadas as cofragens;
- 8 – Aplicação de argamassa epoxídica (de módulo de elasticidade parecido com o da madeira) na cofragem;
- 9 – Preenchimento dos furos existentes com cola;
- 10 – Remoção do escoramento após polimerização dos materiais epoxídicos.

Neste modelo, é admitido que a madeira e a argamassa epoxídica resistem aos esforços de compressão, enquanto que os varões absorvem os esforços de tracção.

Outra das situações usuais consiste na substituição das zonas degradadas por peças do mesmo tipo de madeira, ligadas à existente através de varões e colas epoxídicas. É uma solução que permite um menor impacto visual da intervenção.

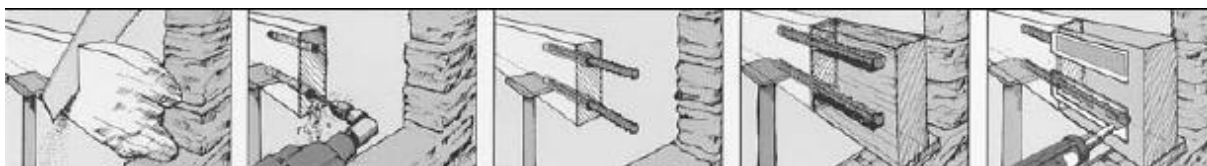


Fig. 5.28 – Execução de prótese na extremidade de viga recorrendo a peça do mesmo tipo de madeira (ROTAFIX;1997).

#### 5.3.3.9 Reforço através da Aplicação de Empalmes

Descrito em 5.3.1.3.

#### 5.3.3.10 Uso de Chapas Metálicas ou de FRP no Interior de Vigas com Cola Epoxídica

Esta técnica poderá ser usada na reabilitação de elementos de madeira degradados de outras zonas que não os apoios, apesar de ser nestes que ela é mais aplicada. É uma técnica que consiste na colagem de placas metálicas ou de FRP no interior da viga, de forma a reforçar essa mesma zona.

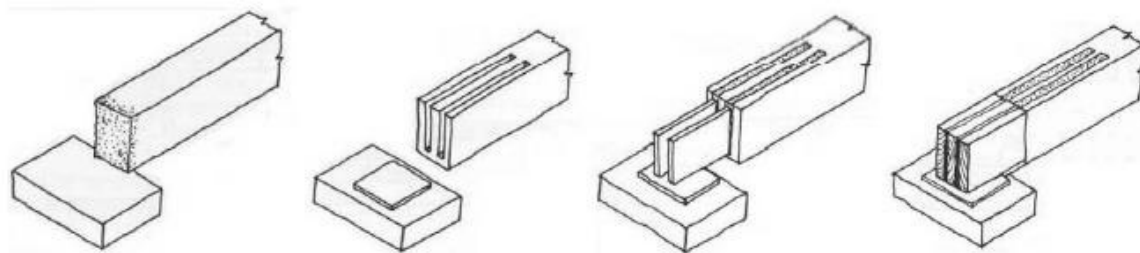


Fig. 5.29 – Execução do reforço através da introdução de chapas e peças de madeira (Arriaga,2002).

Este método consiste na execução de algumas etapas fundamentais, que são:

- 1 – Eliminação da parte degradada da madeira;
- 2 – Execução de aberturas para colocação de chapas, de forma a permitir um bom comprimento de ancoragem;
- 3 – Colocar chapa de apoio da viga na parede para evitar esmagamento ou corte local;
- 4 – Introduzir chapas de reforço com folga de cerca de 4mm de cada lado;
- 5 – Colocação de cola epoxídica entre as chapas e o elemento em madeira;
- 6 – De forma a proteger do fogo, ou então por razões estéticas, devem ser colocadas pequenas peças de madeira a recobrir as chapas.

#### 5.3.4 EMPENAMENTOS E FENDAS

O aparecimento de fendas e empenamentos nos elementos da madeira de edifícios antigos deve-se, normalmente, a processos de secagem não controlados, assimetria de cargas, ou ainda à transmissão de esforços entre elementos não previstos no dimensionamento da estrutura.

A existência de fendas provoca uma redução da capacidade resistente dos elementos, e poderá culminar no colapso da estrutura. Para além disso, a existência de fendas facilita o ataque de agentes bióticos e a infiltração de humidade e a consequente degradação desses mesmos elementos.

Quanto aos empenamentos, estes podem provocar deficiência de apoio de alguns elementos e, consequentemente, má distribuição de esforços no pavimento. Este facto poderá levar à sobrecarga de elementos que não foram dimensionados para resistir a esse nível de carga. Para além disso, se estes empenamentos tomarem a mesma direcção da deformação devido às cargas, a rotura poderá ser atingida para um nível de cargas menor.

O tratamento e eliminação destes problemas poderá ser efectuado de diversas formas, sendo que as mais usuais consistem na utilização de resinas de epóxido e/ou de elementos metálicos, que permitem a selagem das fendas e a redução/eliminação dos empenamentos.

##### 5.3.4.1 Injecção de Resinas Epóxicas em Fendas

O aparecimento de fendas poderá ser devido a processos de secagem da madeira ou a grandes deformações. Este problema pode provocar uma perda de resistência dos elementos estruturais, e assim passar a existir uma diminuição na carga de rotura. Normalmente, as fendas são mais visíveis a



meio vão dos elementos, embora também possam ser encontradas noutras zonas, nomeadamente próximas de ligações entre elementos.

Um dos métodos utilizados para colmatar este problema é a injeção de resinas de epóxico de baixa viscosidade, e a baixa pressão nas fendas, nomeadamente nas de topo ou nas interiores longitudinais.

O método consiste em limpar e selar a zona de fendas e, de seguida, introduzir boquilhas de injeção. Depois disso, a resina de epóxico é injectada por uma dessas boquilhas sob pressão, deixando as outras abertas para saída de ar. Quando a resina começar a sair por essas boquilhas, então deverão ser tapadas e a injeção de resina continuará durante mais cerca de 10 segundos.

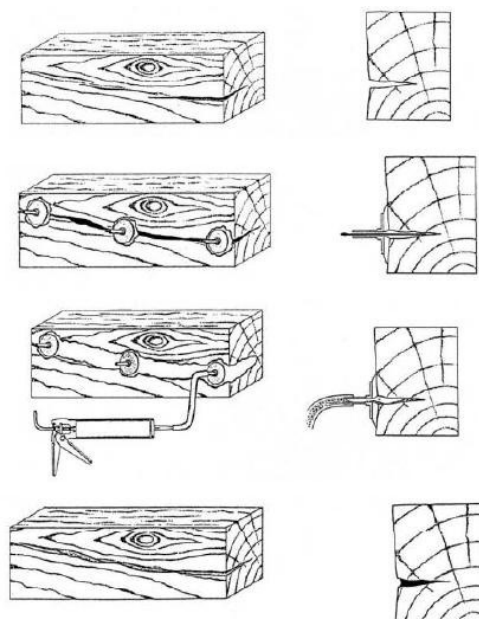


Fig. 5.30 – Selagem de fendas através de resinas de epóxico (ROTAFIX;2007).

O uso deste método traz imensas vantagens, sendo de destacar as seguintes:

- Previne a propagação das fendas pelos elementos;
- Aumenta a resistência ao fogo;
- Previne ataques de agentes biológicos;
- Melhora o comportamento estrutural do pavimento;
- Aumenta a resistência a agentes atmosféricos.

As grandes desvantagens são devidas ao uso das resinas e da incerteza associada ao seu comportamento a altas temperaturas e a longo prazo, assim como a alteração de rigidez provocada e consequente distribuição de esforços na estrutura.

#### 5.3.4.2 Introdução de Barras de Reforço Seladas com Cola Epoxídica

Descrito em 5.3.2.3.

### 5.3.4.3 Utilização de Adesivo de Epóxico e Varões de Reforço para Selar Fendas

Este método consiste na utilização, para além do adesivo de epóxico, de varões em aço inox, ou de materiais compósitos reforçados com fibra de vidro ou poliéster, colocados transversalmente às fendas, de forma a permitir a sua devida selagem.

A metodologia consiste na devida limpeza das fendas e posterior injeção de argamassa de epóxico. De seguida, são efectuados furos transversais à fenda, com um espaçamento previamente determinado, e preenchidos novamente com argamassa de epóxico. Por último, são inseridos nesses furos varões de reforço e novamente injectada argamassa e removido o seu excesso.

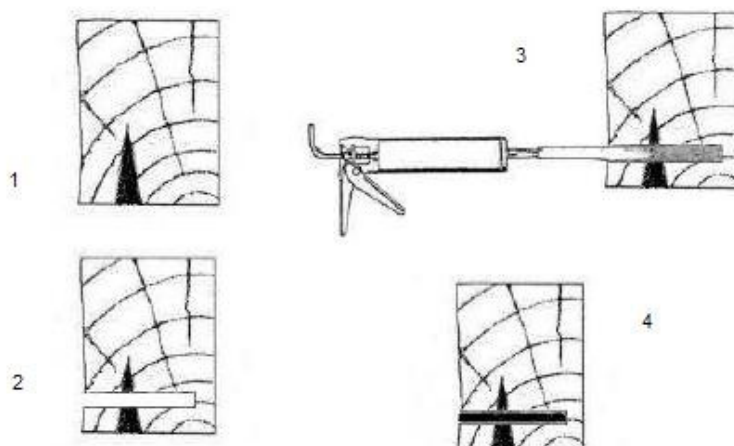


Fig. 5.31 – Fases de selagem de fendas através de argamassa de epóxico e varões de reforço (ROTAFIX;2007).

### 5.3.4.4 Utilização de Chapas, Perfis Metálicos, Parafusos ou Cintas

A utilização de chapas metálicas tem como principal objectivo reduzir e evitar a propagação de fendas existentes no elemento de madeira. As chapas são colocadas paralelamente ao plano das fendas nas duas partes opostas do elemento a reforçar, e ligadas entre si através de parafusos de porca. Esta é uma solução que permite uma maior continuidade do elemento e, ao mesmo tempo, um aumento da sua rigidez. As suas grandes desvantagens são o impacto visual, o aumento da altura da secção e a necessidade de ajuste dos parafusos com regularidade, factos que poderão provocar problemas de aplicação em obra e/ou de monitorização no futuro.

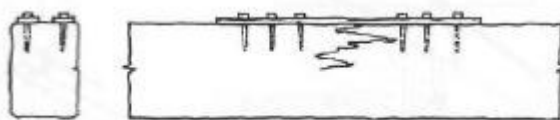


Fig. 5.32 – Peça reforçada com chapa metálica aplicada numa face do elemento de madeira (Arriaga, F.;2002).

Quanto ao uso de cintas metálicas, ao contrário das chapas, estas não permitem reajustes ao longo do tempo, podendo por isso ser ineficazes em algumas situações devido às variações volumétricas da madeira. Assim, segundo (Duarte;2004), esta é uma técnica pouco utilizada na reabilitação/reforço de

pavimentos. Apesar disso, poderão ser usadas cintas, com sistema de aperto nas suas extremidades através de parafusos de porca, em alguns casos.



Fig. 5.33 – Uso de cinta metálica para reforço de pavimento no Convento de Corpus Christi, Vila Nova de Gaia, (Costa et al.; 2007).

Em algumas situações poderão ser usados simplesmente parafusos de porca perpendicularmente ao plano das fendas. Esta situação tem algumas desvantagens, nomeadamente, a necessidade de ajuste dos parafusos com alguma regularidade, o elevado impacto visual e também a redução da secção resistente dos elementos devido à introdução dos parafusos. Apesar disso, esta intervenção tem algumas vantagens importantes, sendo de destacar a rapidez e simplicidade de aplicação. Esta é uma solução que normalmente é efectuada em obra conjuntamente com a aplicação de colas epoxídicas para assim permitir uma maior solidez e eficácia da intervenção.

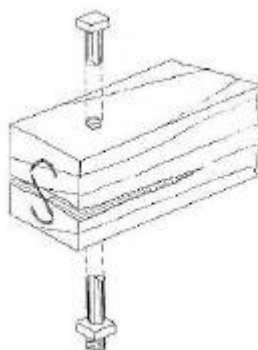


Fig. 5.34 – Uso de parafuso em fenda de elemento de madeira (Johnson; 1980).

Por fim, há a salientar o uso de perfis metálicos. Estes são utilizados na mesma perspectiva que as chapas metálicas, embora os perfis metálicos sejam, normalmente, colocados na zona lateral dos elementos de madeira, provocando assim um aumento da secção útil das peças. Os perfis são ligados ao elemento de madeira através de parafusos ou pernos, de forma a permitir uma continuidade da peça. Segundo (Appleton;2003), no dimensionamento da espessura dos elementos metálicos a utilizar, deverá ser tida em conta a relação dos módulos de elasticidade dos diferentes materiais utilizando, para isso, um coeficiente de homogeneização adequado (normalmente de 20:1).

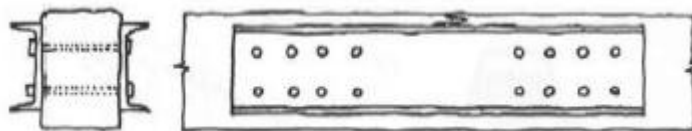


Fig. 5.35 – Reforço de elemento de madeira através de um perfil metálico (Arriaga;2002).

### 5.3.5 PROBLEMAS DE RIGIDEZ

É usual encontrar em edifícios antigos graves problemas de rigidez, nomeadamente na resistência à ocorrência de sismos. Os pavimentos não são excepção nestes casos e, por isso mesmo, a segurança anti-sísmica e a redução do nível de deformações no plano e fora dele são importantes.

Nestes casos, será prioritário assegurar uma eficaz ligação dos pavimentos às paredes estruturais, assim como uma melhoria geral e significativa da rigidez dos pavimentos. Para isso, (Marini et al.;2006), propõe algumas soluções, sendo de destacar a proposta de criação de diafragmas ao nível dos pavimentos. Esta solução permite a criação de uma espécie de caixa na estrutura do edifício, fazendo com que o comportamento do pavimento melhore significativamente, nomeadamente quanto ao aumento da sua capacidade de carga. Faz também com que as paredes estruturais tenham uma maior segurança ao derrube. A utilização deste método deve ter sempre em conta o cuidado com o aumento de peso do pavimento e o controlo da transferência de vibrações às paredes estruturais no plano do diafragma.

A solução de atribuição ao pavimento dum comportamento de diafragma não é, no entanto, consensual entre a comunidade científica. De facto, por vezes a utilização deste método provoca graves danos nas paredes estruturais durante a actuação de um sismo sendo, por isso, preferível em alguns casos proceder apenas à melhoria da ligação parede-pavimento.

#### 5.3.5.1 Reforço da Ligação Pavimento-Parede

A degradação da ligação entre as estruturas dos pavimentos e as paredes é um dos grandes problemas frequentemente encontrados nos edifícios. Esta ligação é particularmente importante na segurança sísmica dos pavimentos e no travamento horizontal das paredes estruturais.

Este reforço pode ser efectuado de diferentes maneiras, sendo de destacar a utilização de ferrolhos metálicos, a introdução de chapas metálicas ou o uso de tirantes metálicos. Os primeiros consistem na introdução do respectivo ferrolho na parede estrutural ao qual estão ligados outros componentes metálicos, os quais deverão ser solidarizados através de parafusos de porca ao elemento de madeira.

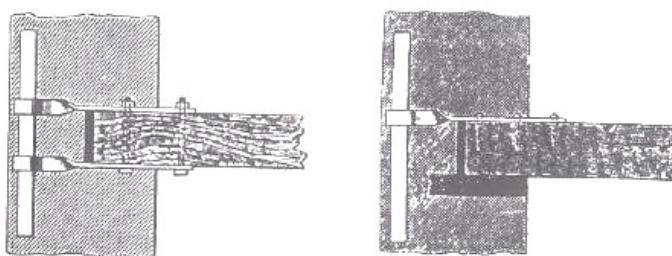


Fig. 5.36 – Reforço do apoio da viga na parede estrutural através de um ferrolho de aço (Lombardo et al.;1997).

A utilização de chapas metálicas ou vergalhões é uma ótima solução, e frequentemente utilizada em reabilitações de edifícios de qualidade. Estas peças têm cerca de 10mm de espessura e 50mm de largura e são fixadas diagonalmente às vigas do pavimento e chumbadas às paredes transversais, paralelas às vigas do pavimento. Segundo (Appleton;2003), a inclinação destas barras deverá ser de cerca de 45°, e o comprimento de amarração deverá abranger, no mínimo, três vigas de madeira.

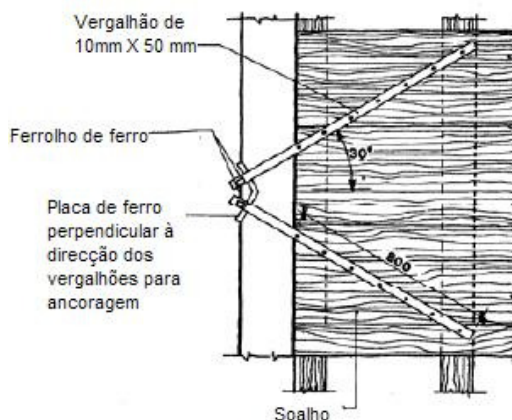


Fig. 5.37 – Utilização de vergalhões de aço na ligação pavimento-parede em planta (Lombardo et al.;1997).

Por fim, outro dos métodos usuais de reforço da ligação entre o pavimento e as paredes é o da introdução de tirantes metálicos. Este método consiste na ligação de tirantes metálicos a cantoneiras instaladas nas paredes do edifício, permitindo assim o reforço da ligação entre as vigas e as paredes e, conseqüentemente, o melhoramento do funcionamento global do edifício.

### 5.3.5.2 Introduzir uma Camada de Soalho Sobre a Existente

Esta é uma solução descrita por (Appleton;2003), e consiste na aplicação de um novo soalho perpendicularmente ao já existente. A aplicação do novo soalho exige que o anterior esteja devidamente nivelado, para a aplicação seja mais fácil. Para além disso, hoje em dia é usual a utilização de elementos de travamento selados às paredes estruturais e perpendiculares às vigas previamente existentes, assim como a introdução de peças metálicas horizontais embebidas nas tábuas, de forma a permitir uma melhor ligação entre os dois soalhos (Giuriani et al.;2005).

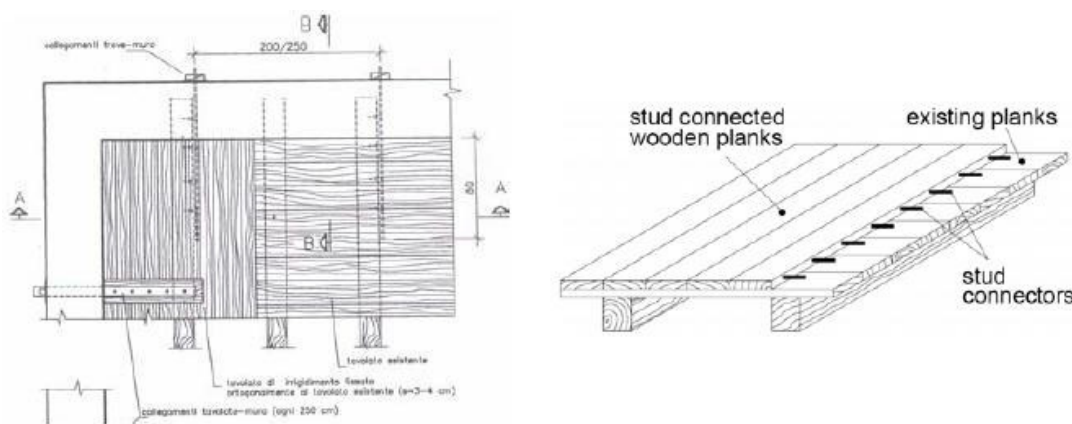


Fig. 5.38 – Aplicação de novo soalho e respectivas ligações das vigas às paredes (Lombardo et al.;1997) e à direita um esquema com utilização das peças metálicas horizontais (Marini et al.;2006).

### 5.3.5.3 Introduzir uma Camada de Placas de Derivados da Madeira Sobre o Soalho

Com o mesmo objectivo do método anterior, é usual aplicar uma camada de derivados de madeira ligados através de chapas metálicas, de forma a melhorar o comportamento de diafragma da estrutura do pavimento. De acordo com (Giuriani et al.;2005), os painéis são fixados a cantoneiras metálicas perimetrais, e o sistema de diafragma posteriormente ligado às paredes de alvenaria através de barras metálicas verticais ancoradas (figura 5.39).

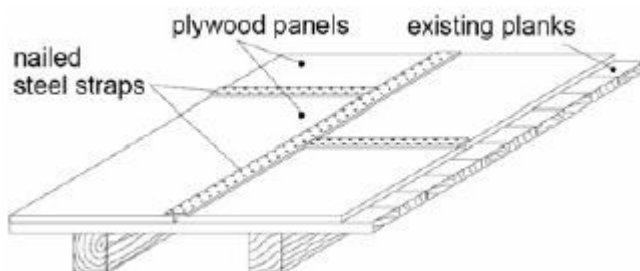


Fig. 5.39 – Aplicação de painéis de derivados de madeira sobre soalho existente (Marini et al.;2006).

### 5.3.5.4 Aplicação de Chapas Metálicas ao Soalho Existente

Este método é descrito por (Giuriani et al.;2005), e consiste na colocação de chapas metálicas finas justapostas umas às outras, perpendicularmente à direcção do soalho. Estas chapas são fixadas ao soalho existente através de parafusos metálicos para evitar processos de encurvadura na vertical.

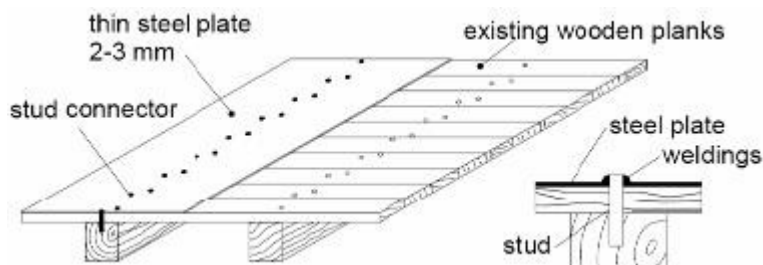


Fig. 5.40 – Aplicação de chapas metálicas sobre soalho existente (Marini et al.;2006).

### 5.3.5.5 Colocação de Novas Vigas a Dividir os Vãos

Uma das técnicas mais utilizadas quando se está perante estruturas de pavimentos com grandes deformações é a introdução de novas vigas de madeira, que dividam o vão do pavimento em dois ou mais. Esta introdução de vigas, segundo (Appleton;2003), permite uma redução de cerca de oito vezes da deformabilidade do pavimento (figura 5.41).



Fig. 5.41 – Divisão de vão existente através da introdução de viga de reforço (Dias;2008).

Apesar de ser um método bastante eficaz, apresenta algumas desvantagens às quais é preciso estar atento. Desde logo, o facto de se aumentar a espessura do pavimento, ou seja, pode haver uma limitação arquitectónica em termos de altura que impeça a utilização deste método. Por outro lado, a nova viga de reforço passa a receber grande parte da carga do pavimento, o que provoca uma necessidade de reforço nos apoios desta na parede de alvenaria, assim como a devida protecção de padieiras de portas e janelas.

Segundo (Arriaga;2002), o controlo das deformações poderá ser efectuado adoptando este procedimento, mas usando perfis metálicos em vez de vigas de madeira. São colocados os perfis transversalmente às vigas do pavimento, e apoiados nas paredes ou em outros perfis colocados paralelamente às vigas (figura 5.42).



Fig. 5.42 – Divisão de vão existente através do uso de dois níveis de perfis metálicos (Dias;2008).

Por vezes, a dimensão transversal às vigas dos pavimentos existentes é demasiado grande. Este facto faz com que se deva considerar apoios à nova viga, através de pilares de alvenaria, madeira ou metálicos, ou mesmo através de um terceiro nível de vigamento, se as condições do local o permitirem.





Fig. 5.43 – Utilização de viga de reforço transversal apoiada em pilares de madeira (Costa et al; 2007).

#### 5.3.5.6 Colocação de Chapas Metálicas em Vigas

De forma a conseguir uma maior rigidez do pavimento, existe a possibilidade (segundo, por exemplo, Gattesco et al;2006) de proceder à introdução de chapas metálicas nas vigas. O método consiste na fixação de uma chapa metálica (com dimensões de cerca de 90mm de largura e 10mm de espessura) na face superior de cada viga através de ligadores metálicos.

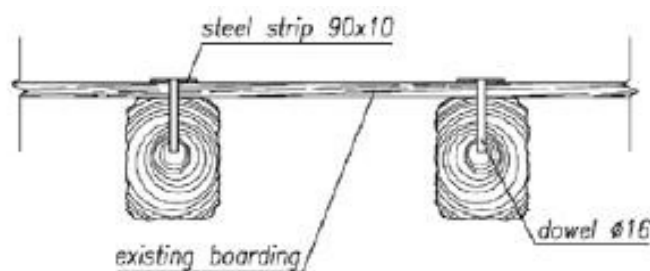


Fig. 5.44 – Colocação de chapas metálicas sobre as vigas (Gattesco et al.;2006).

Com o objectivo de melhorar a transferência de esforços entre o pavimento e as paredes estruturais, (Gattesco et al;2006) sugere ainda um melhoramento do sistema atrás descrito. Segundo este autor, o sistema pode ser melhorado através da instalação de um sistema de treliça no plano do pavimento. O procedimento consiste na instalação de uma cantoneira metálica fixada às paredes de alvenaria que, por sua vez, se ligam às vigas e às chapas metálicas do pavimento. De seguida, é colocado um sistema de chapas diagonais soldado à cantoneira metálica perimetral. Por último, é usual a colocação de um novo soalho por cima deste sistema, de forma a facilitar a sua utilização.



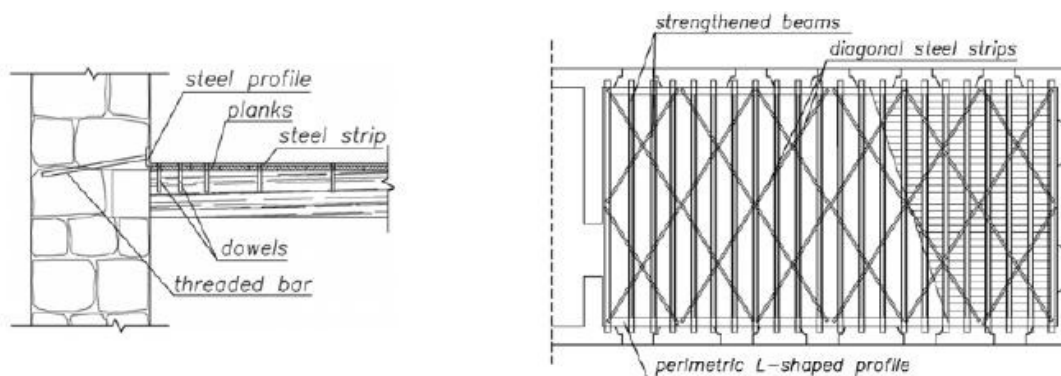


Fig. 5.45 – Ligação das chapas metálicas às paredes e vigas (à esquerda) e esquema da treliça metálica horizontal para reforço (Gattesco et al.;2006).

Tal como em outros métodos atrás descritos, este tipo de solução tem como grande desvantagem o facto de o antigo soalho deixar de ser visível e, por isso mesmo, fazer com que as características estéticas do edifício se alterem.

#### 5.3.5.7 Colocação de Novas Peças Entre os Elementos Existentes

Este método consiste na introdução de novos elementos entre os já existentes, para que se obtenha uma diminuição dos esforços a que as vigas estão sujeitas e permita uma maior rigidez da estrutura. Esta solução permite, assim, reduzir a deformabilidade e o nível de vibrações do pavimento.

Segundo (Appleton;2003), a introdução de novos elementos apresenta problemas, dado que estes não apresentam as mesmas características dos elementos já existentes e, por isso mesmo, o controlo da deformação do pavimento vai ser mais difícil. Assim, deverá seleccionar-se bem o material e a sua geometria e, além disso, ter-se o cuidado de dimensionar bem as ligações destes novos elementos às vigas existentes, por exemplo, através de peças metálicas a reforçar esses pontos.



Fig. 5.46 – Chãos aplicados em pavimento antigo de madeira (Ilharco et al.;2007).

Nas entregas das vigas nas paredes de alvenaria, deverá ser considerado um mínimo de 20 cm de abertura. Nestas aberturas deverá ser colocada um bloco de pedra com a face superior aparelhada e horizontal, para que as novas vigas possam apoiar (Reis et al.;2006). No caso de o apoio ser feito em paredes de tabique, a ligação deverá ser feita ao frechal através de peças de aço aparafusadas ou pregadas (Appleton;2003). No entanto, o apoio das novas vigas deverá, sempre que possível, ser

efectuado indirectamente através de outras peças, permitindo assim uma fácil execução e, ao mesmo tempo, uma maior contribuição para o travamento estrutural das paredes resistentes.

A introdução de novos elementos entre os existentes poderá ser efectuada através de perfis metálicos. De facto, é usual a aplicação de perfis metálicos paralelamente às vigas existentes ajudando, assim, os elementos existentes a resistir às cargas e a reduzir o seu nível de esforços. Para além disso, permite o aumento da rigidez do pavimento e a conseqüente redução da respectiva deformabilidade e nível de vibração.



Fig. 5.47 – Utilização de perfis metálicos intercalados com as vigas de madeira existentes, Mosteiro de Tibães, Braga (Dias;2008).

#### 5.3.5.8 Reforço com Tirantes de Aço

Esta técnica consiste na colocação de tirantes de aço através dos barrotes existentes no pavimento. As barras de aço são fixadas aos cantos das divisões e postas em tensão através de esticadores localizados a meio-vão, entre os barrotes.

O procedimento para a implantação deste método consiste nos seguintes passos:

- Levantamento do soalho e abertura de orifícios nos barrotes para a passagem dos varões;
- Colocação de perfis e outros elementos metálicos junto às paredes para permitir uma devida ancoragem;
- Colocação de varões e respectivos esticadores;
- Colocação do soalho.

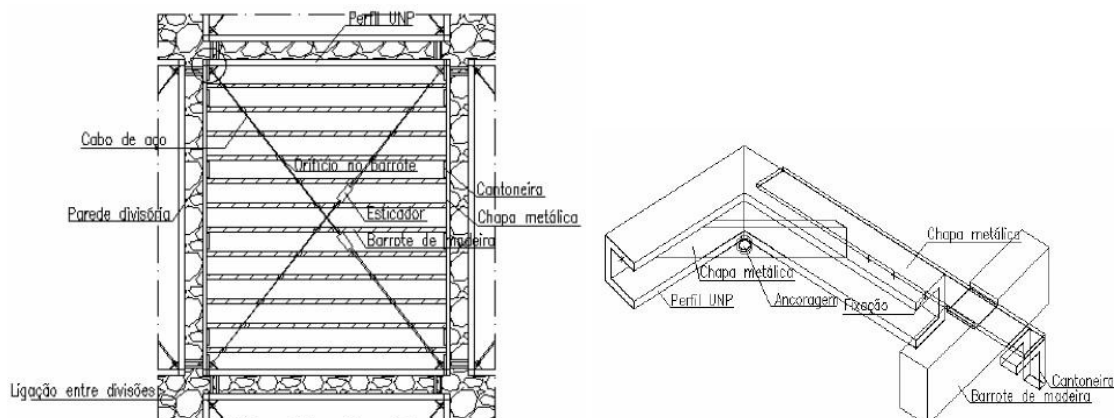


Fig. 5.48 – Reforço do pavimento com tirantes (à esquerda) e pormenor de ligação nos cantos das divisões (Branco;2007).

Este modelo permite a obtenção de um sistema mais rígido que o original resultante do aumento ligeiro da massa do pavimento e das suas vibrações próprias. Para além disso, passa a existir uma redução de deslocamentos, bem como uma diminuição das forças de corte junto das paredes resistentes.

É uma técnica que exige mão-de-obra qualificada mas, ao mesmo tempo, tem pouca implicação no funcionamento do edifício e no impacto visual. Por isso mesmo, é uma técnica cada vez mais usada na reabilitação de pavimentos, principalmente quando se trata de pequenas áreas.

#### 5.3.5.9 Introdução de uma Lajeta de Betão

Este tipo de solução tem como objectivo reforçar os pavimentos em madeira, para que as cargas exercidas sobre eles seja repartida transversalmente, ou seja, no caso de algum elemento de madeira falhar, a lajeta de betão absorve esse esforço e mantém a continuidade e solidez do pavimento devido à existência de ligadores entre os dois.

Hoje em dia a utilização deste método tem como principal razão a crescente preocupação com a resistência sísmica e a tentativa de melhorar o comportamento dos pavimentos a estas acções e, assim, reforçar o sistema de diafragma destas estruturas e reduzir o seu nível de vibração e deformação em geral.

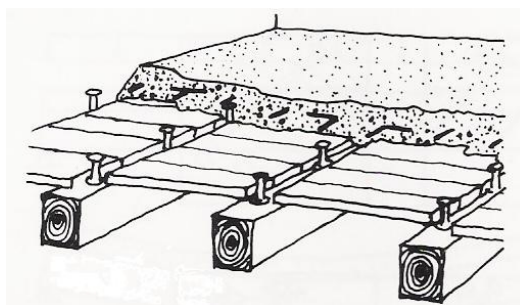


Fig. 5.49 – Colocação de lajeta de Betão sobre o pavimento de madeira (Arriaga;2002).

A eficácia desta solução está claramente dependente da eficiência da ligação entre estes dois materiais: madeira e betão. Como é sabido, o betão resiste muito bem a esforços de compressão, enquanto que a madeira tem comportamentos à tracção e à compressão aproximadamente iguais, o que faz com que, para haver uma boa distribuição de esforços na laje mista, seja necessário uma adequada ligação entre as duas camadas e reduzir (se possível anular) os deslocamentos entre elas. Para isso existem diversos tipos de ligadores, sendo de destacar os do tipo cavilha (como pregos, parafusos ou varões metálicos dobrados), os de superfície (tubos metálicos, ligadores dentados ou de anel) e por último, mas não finalmente, o recurso a ligações coladas com colas epoxídicas.

A realização deste tipo de solução deverá ser concretizada de acordo com os seguintes passos principais:

- Efectuar o escoramento adequado do pavimento existente (dado que a introdução da lajeta de betão provoca cargas elevadas);
- Proteger a superfície da madeira da humidade resultante do processo de betonagem (através de plásticos ou telas);
- Colocar ligadores com afastamento previamente definido e protegidos contra a corrosão;

- Colocação de malha electrosoldada ou armadura fixada aos ligadores;
- Processo de betonagem.

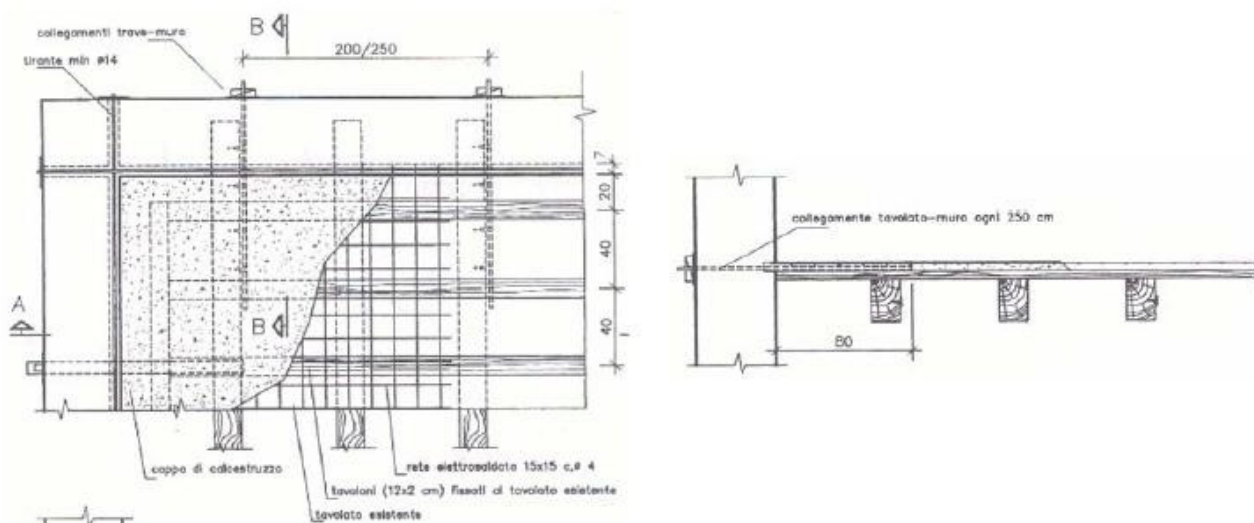


Fig. 5.50 – Pormenores da colocação de lajeta de betão sobre pavimento de madeira (Lombardo et al.;1997).

As principais vantagens do uso deste método são (segundo Arriaga;2002) a obtenção de cerca do dobro da capacidade resistente de carga em relação ao original, o triplo ou o quádruplo da rigidez à flexão, e o funcionamento como diafragma aumentar indefinidamente. Assim, associado ao facto de passar a existir um aumento significativo da massa do pavimento, o nível de vibrações diminui, o isolamento acústico e térmico aumenta de forma considerável e a resistência ao fogo é maior. Para além disso, é um método bastante fácil e económico de implementar em obra.

Quanto às desvantagens, as principais a destacar são o brusco aumento de peso e altura do pavimento e a complexidade na execução das ligações entre a laje e a parede e entre o betão e a madeira do pavimento. De facto, a questão das ligações neste tipo de estruturas mistas é fundamental, dado que a sua má execução poderá provocar graves danos na estrutura do pavimento devido ao mau funcionamento do pavimento à flexão e, assim, a madeira existente não aguentar o peso da lajeta de betão. Se não houver solidarização estrutural, a lajeta de betão funciona apenas como massa adicional, não tendo qualquer contribuição para a resistência do conjunto. Qualquer falha na execução dos trabalhos pode ainda ter consequências muito graves no desempenho do pavimento após reabilitação.

# 6

## ESTUDO DE CASO

### 6.1 APRESENTAÇÃO

No âmbito deste projecto sobre pavimentos estruturais em madeira, e de forma a complementar e ilustrar a síntese efectuada entendeu-se adequado introduzir um caso real de estudo. Assim, foram acompanhados os trabalhos de reabilitação do Cine-Teatro de Fafe, que estiveram a cargo da empresa de construção CASAIS Engenharia.

Neste capítulo são abordadas várias questões relacionadas com o edifício, sendo de destacar as principais características estruturais e mecânicas dos pavimentos estruturais em madeira, anomalias detectadas e a proposta de soluções para as mesmas.

Algumas das patologias descritas foram comunicados por técnicos envolvidos no processo, dado que o acompanhamento da referida obra iniciou-se com algumas renovações e reabilitações já realizadas.

A análise começa por ser feita através de uma introdução e enquadramento no tempo e na sociedade por parte do edifício, seguindo-se uma caracterização dos principais materiais e elementos construtivos existentes. De seguida, é efectuada uma descrição das anomalias observadas, mais concretamente nos pavimentos em madeira, e uma lista de possíveis intervenções a realizar para melhoria desses mesmos elementos.

Ao longo do capítulo, todas as descrições são acompanhadas por desenhos e fotografias que descrevem o observado. Estes registos fotográficos foram realizados em várias visitas à referida obra, entre Setembro de 2008 e Janeiro de 2009.

### 6.2 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO E ADMINISTRATIVO

A construção do Teatro iniciou-se no ano de 1878, sob a direcção da Sociedade Recreativa de Fafe, de forma a satisfazer o cada vez maior interesse da população da vila pela arte de Talma. A inauguração do espaço foi feita no ano de 1881 com a peça *Poder de Ouro*, interpretada por um grupo de amadores fafenses. Por este Teatro passaram inúmeras peças e companhias de renome nacional, que fizeram

deste espaço uma casa cada vez mais conhecida e relatada nos meios de comunicação, e à qual se deslocava, em todos os espectáculos, um público regular e fervoroso. Este facto levou, em 1909, à criação do primeiro grupo amador teatral de Fafe, o Grupo Dramático dos V.

Mais tarde, com a implantação do cinema, o Teatro teve de se adaptar às duas artes com a aquisição do mais moderno equipamento de som e imagem e a alteração de algumas características da sala. É então em 10 de Janeiro de 1924 que o seu dono, Dr. José Summavielle Soares, organiza a festa de inauguração do “Teatro Cinema” com a presença de ilustres convidados e com a actuação de orquestra e de companhia de teatro. Era de facto uma das maiores obras da região Norte de Portugal, só comparável ao Teatro-Circo de Braga, e os adornos interiores como as pinturas e mobiliário ficaram a cargo da empresa ‘A Japoneza, Ld.<sup>a</sup>’, sediada no Porto.

Era um edifício frequentado pela alta burguesia da cidade e da região. A ida ao Cine-Teatro tornou-se num acto social de alta importância, e a presença de fumo saindo da zona do jardim do edifício anunciava à vila a presença de uma estreia de cinema. Essas estreias eram marcadas pelo luxo e pelo convívio entre os convidados horas antes da sessão nos jardins do edifício.

Em 1949 ocorreu no edifício a muito aclamada e polémica sessão de propaganda democrática da candidatura de Norton de Matos a Presidente da República. De facto, a partir dessa data o edifício começou a ser frequentemente utilizado para acções políticas, designadamente para reuniões de grupos políticos que se opunham ao regime da altura.

Entretanto, com o passar do tempo, o uso do edifício baixou de ano para ano, e a degradação natural abateu-se sobre ele. De facto, a realização de peças de teatro era cada vez mais escassa, e apenas o cinema levava pessoas ao edifício, mas mesmo este acabou por se extinguir com a abertura de outras casas mais modernas e destinadas apenas à transmissão cinematográfica.

Mais tarde, José Manuel Oliveira Rodrigues, um construtor civil conhecido na região, adquire o edifício à família Summavielle e prepara-se para dar novo rumo à casa. De facto, foram anunciadas obras de reparação, mas apenas algumas foram efectuadas (nomeadamente a substituição do palco), mas o Cine-Teatro nunca mais voltou a abrir ao público.

Hoje em dia as obras de reabilitação já estão a ser efectuadas sob orientação da Câmara Municipal de Fafe, que adquiriu o edifício. Espera-se que no mês de Abril de 2009 reabra ao público.

### **6.3 ARQUITECTURA DO EDIFÍCIO**

O Cine-Teatro é um belo exemplar da arquitectura do final do século XIX, destacando-se pelo facto de conter uma elaborada decoração, tanto no seu interior como também na fachada. É um edifício que marca uma época e um estilo construtivo dos quais existem poucos exemplares em Portugal e, sem dúvida, trata-se de um edifício de grande qualidade pertencente ao património cultural/artístico português.

A lotação da sala é de cerca de 400 lugares distribuídos pela plateia, frisas e camarotes de 1.<sup>a</sup> e 2.<sup>a</sup>. Para além disso, o edifício possui outras zonas que interessa destacar, tais como: - um átrio de entrada; - um fosso de orquestra; - um salão nobre; - camarins; - parte posterior do edifício.

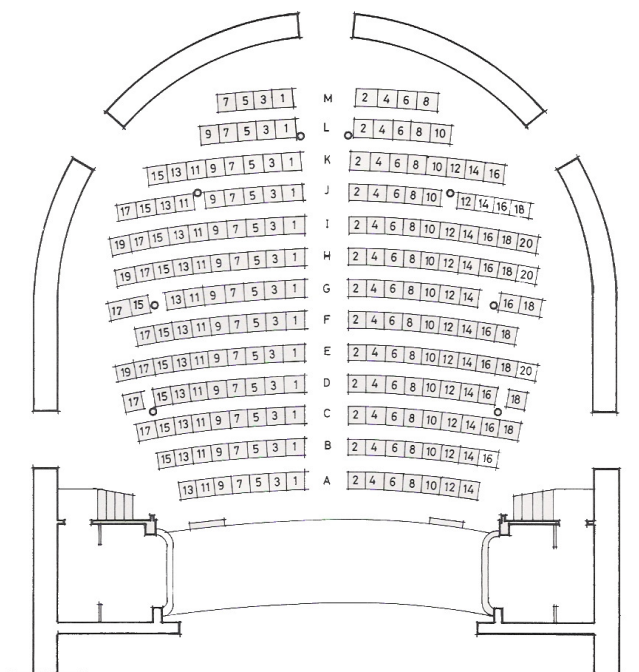


Fig. 6.1 – Planta da plateia e respectiva distribuição de lugares (Monteiro;1991).

O edifício tem um interior em forma de ferradura, dado que os camarotes e as frisas, ou seja, os balcões, são suportados por oito colunas distribuídas em forma de ferradura que, assim, quebram a verticalidade das paredes laterais dando equilíbrio e harmonia ao espaço interior. Este facto permite uma excelente acústica e uma visão perfeita do espaço cénico a partir de todos os locais destinados ao público. Para além disso, esta opção permitiu a obtenção de um maior travamento às paredes laterais do edifício, assim como a possibilidade de aumentar bastante a sua capacidade.

O tecto é abobadado e apresenta uma decoração pictórica cromática que permite uma sensação de grande amplitude do espaço. Nessas decorações surgem pinturas que pretendem colocar o público no firmamento, intervalado por medalhões que retratam figuras masculinas (que se supõem ser músicos célebres).

Quanto à fachada, esta é, de facto, única no país e revela-se como uma das características deste edifício que tanto interesse atrai. Esta possui um tom rosa e com desenhos de cupidos que simbolizam o amor às artes e nos indicam o caminho para o interior do edifício. Segundo alguns historiadores, a fachada relata a primeira encenação da espiritualidade artística vivida dentro do edifício e pretende filtrar à entrada os amantes das artes e os fingidores.



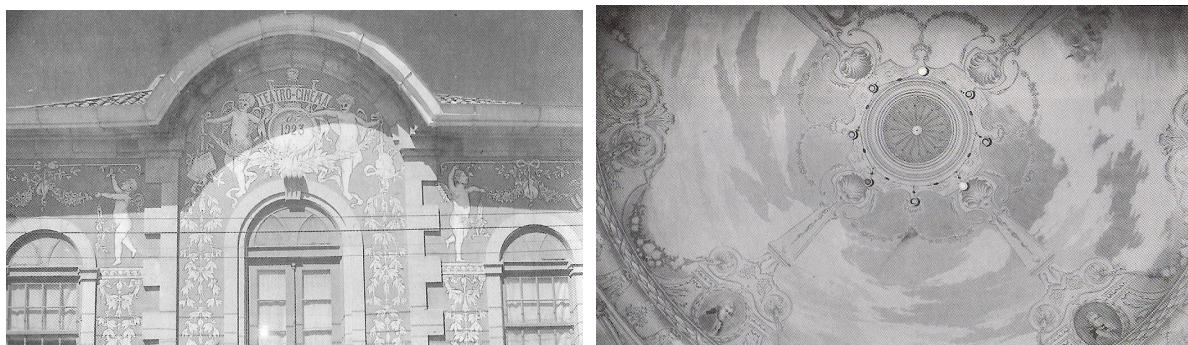


Fig. 6.2 – Fachada do Cine-Teatro de Fafe no passado (à esquerda) e tecto da sala principal do edifício (à direita).

Antigamente, o Cine-Teatro possuía um terraço e um jardim. Nesse jardim eram organizados variados eventos culturais e sociais e era frequente a presença da burguesia local para churrascos e convívios. Normalmente, estes ajuntamentos eram efectuados no dia de estreias de cinema, tanto antes como depois da sessão, fazendo assim destes dias autênticas festas para a vila.

Este edifício marcou assim o fim das construções efectuadas pela geração de «brasileiros» de Fafe e seus descendentes. Estes eram emigrantes fafenses no Brasil que marcaram uma época pelas suas construções na região e que culminaram na construção do Cine-Teatro.

De seguida são apresentadas as plantas de todos os pisos do edifício para que seja perceptível a arquitectura base do edifício. Além disso, são enumeradas as principais divisões características desse mesmo piso.

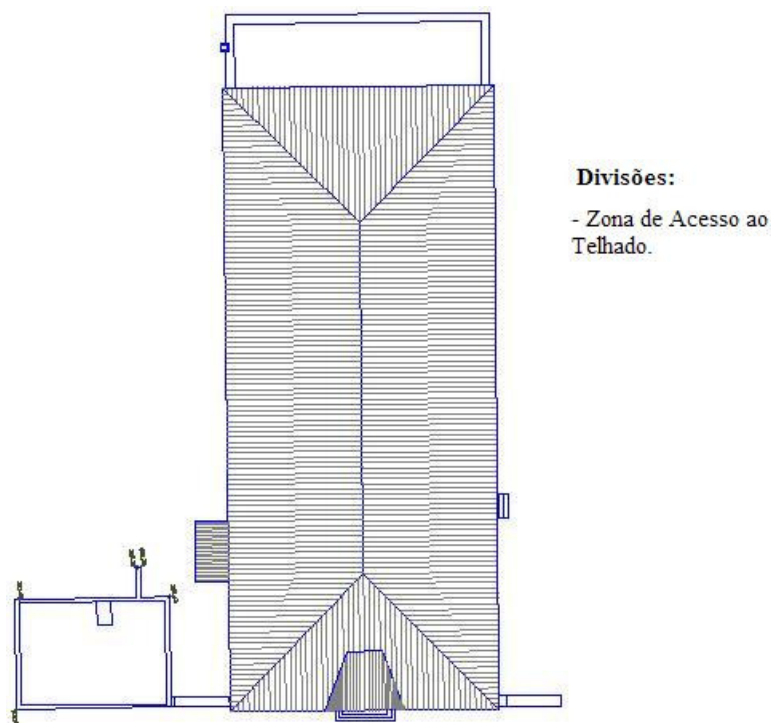


Fig. 6.3 – Planta da cobertura do edifício e respectivas divisões.



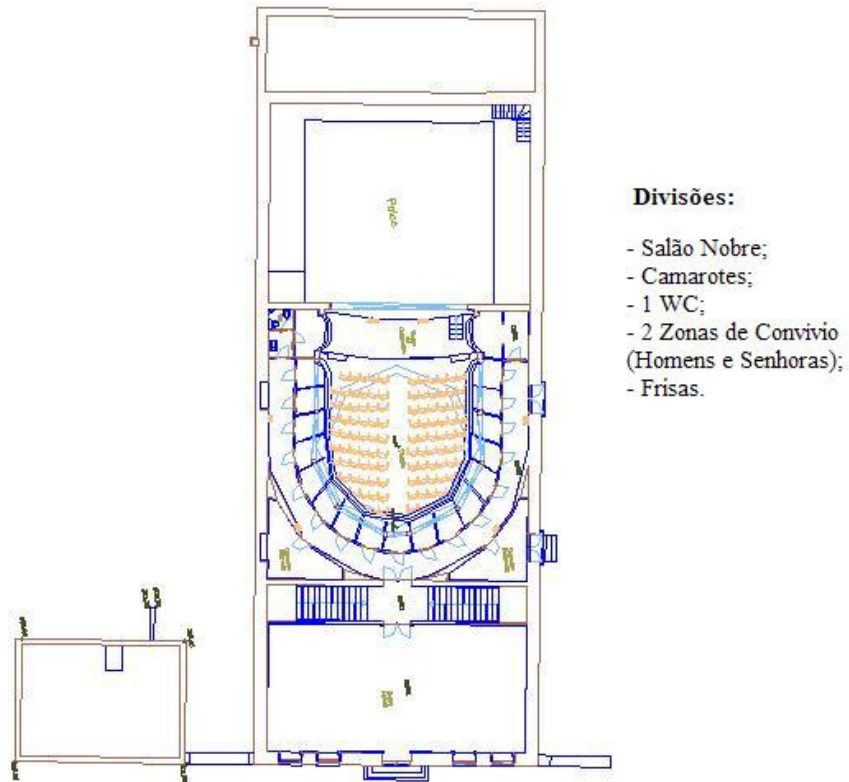


Fig. 6.4 – Planta do piso 2 do edifício e respectivas divisões.

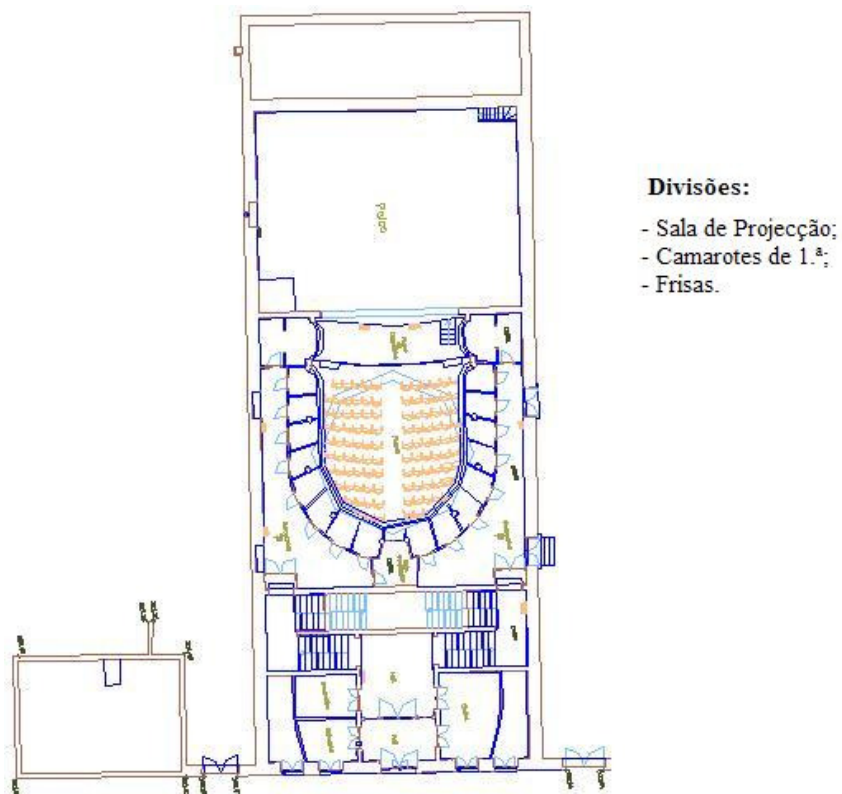


Fig. 6.5 – Planta do piso 1 do edifício e respectivas divisões.

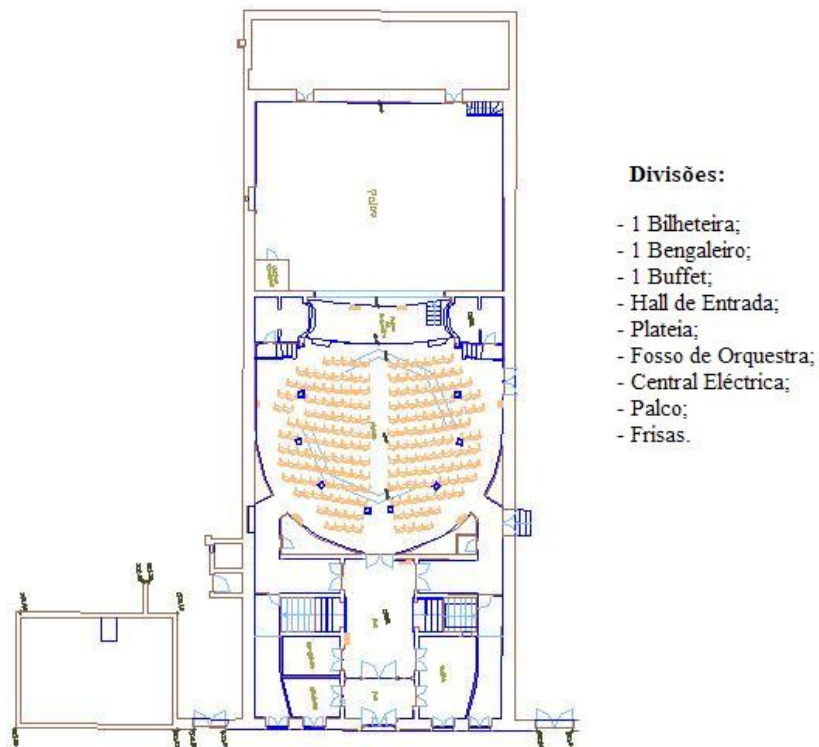


Fig. 6.6 – Planta do piso 1 do edifício e respectivas divisões.

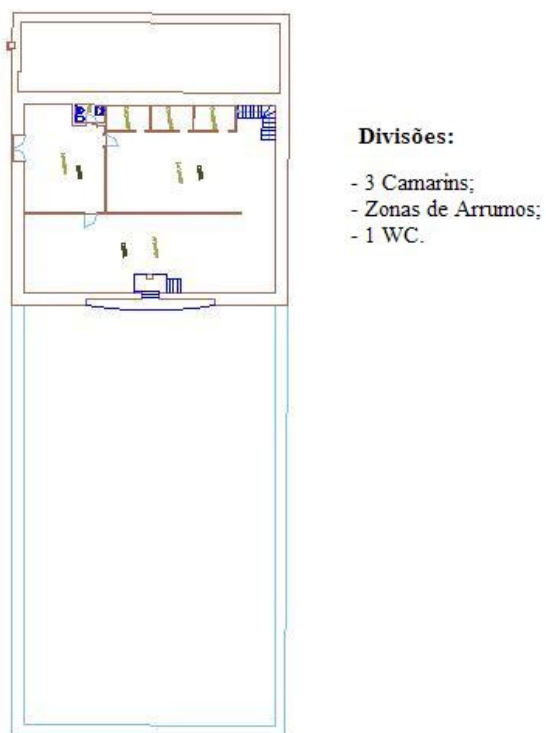


Fig. 6.7 – Planta do piso 1 do edifício e respectivas divisões.

## 6.4 A ESTRUTURA DO EDIFÍCIO

O objectivo deste ponto é efectuar uma breve descrição dos principais elementos com funções estruturais constituintes do edifício. Descreve-se o edifício como um todo, e os seus principais constituintes estruturais de forma um pouco mais detalhada, de modo a que se consiga entender, com maior rigor o funcionamento estrutural e o respectivo enquadramento na arquitectura do edifício. Dá-se obviamente um especial enfoque aos subsistemas estruturais à base de madeira, por serem o principal objecto de estudo desta dissertação.

O edifício assenta num sistema estrutural clássico, com paredes em alvenaria de pedra, excepto algumas interiores realizadas em tabique de madeira (de apoio a elementos do espaço de público, com destaque para os balcões). Os pavimentos e cobertura são em estrutura de madeira, com um desenho bastante original, em que alguns pilares interiores, também em madeira, asseguram um excelente funcionamento de conjunto através da redução dos vãos e do travamento espacial globais. Em geral, as circulações verticais eram asseguradas no edifício original por escadas de madeira, existindo logo na entrada uma escada mais elaborada em pedra. A decoração e compartimentações interiores são as habituais para os edifícios deste período (final do século XIX).

A intervenção de reabilitação agora efectuada no edifício respeita quase integralmente a alma original do mesmo, embora introduza diversas novas soluções que lhe permitem resolver uma série de questões regulamentares importantes, com destaque para a segurança contra incêndios (caminhos de fuga para o exterior).

Apresentam-se em seguida com maior detalhe os elementos estruturais fundamentais do edifício.

### 6.4.1 ENVOLVENTE EXTERIOR

As paredes da fachada principal e das laterais são em alvenaria de pedra granítica irregular com acabamento em reboco. Na fachada principal, existem pinturas murais datadas do início do século XX, realizadas na altura para conferir uma maior actualidade à fachada do edifício existente. As paredes laterais têm um acabamento em reboco pintado de branco. Todas as paredes exteriores têm, em média, uma espessura de cerca de 0,35 a 0,40 metros, e possuem cunhais em pedra granítica trabalhada à vista.

A cobertura é inclinada com telha do tipo “Marselha”.

### 6.4.2 INTERIOR DO EDIFÍCIO

O interior do edifício é constituído, na sua maioria, por paredes divisórias em tabique rebocadas, estucadas e posteriormente pintadas. Apesar disso, existem algumas paredes em alvenaria de pedra irregular, nomeadamente as que dividem a zona do auditório e as zonas de convívio.

Os tectos são em estuque ornamentado nas zonas importantes do edifício, como a sala principal, o salão nobre e todas as zonas de entrada no edifício (hall, escadarias, bilheteiras e buffet). Quanto aos tectos das outras zonas (como por exemplo, os corredores de acesso aos camarotes), eram originalmente estucados e pintados e foram agora reabilitados usando tectos falsos em gesso cartonado.



Fig. 6.8 – Tecto em estuque ornamental do hall de entrada (à esquerda) e à direita o tecto do buffet, no qual se verifica também o corte efectuado numa parede divisória em tabique.

Algumas paredes de tabique são usadas como meras paredes divisórias, sem nenhuma função estrutural. No entanto, existem algumas que têm função estrutural, principalmente no que diz respeito ao apoio de pavimento estruturais. De facto, na zona dos camarotes, as paredes que dividem os acessos às zonas de assistência são utilizadas para o apoio dos vigamentos dos pisos superiores que suportam esses mesmos acessos.

As portas e janelas são em madeira pintada, tal como todos os rodapés do edifício.

#### 6.4.3 ESTRUTURA EM MADEIRA DOS PAVIMENTOS

A estrutura que serve de apoio aos pavimentos do edifício consiste em elementos principais (vigas) de madeira de Carvalho. As vigas de apoio dos pavimentos (apoiadas nas paredes de alvenaria e em paredes interiores em tabique) têm dimensões rectangulares diversas. Quanto ao soalho, este é constituído por tábuas em madeira de Carvalho e de Pinho de secção regular com largura de cerca de 15 cm.

Existem pavimentos em madeira em várias zonas do edifício, nomeadamente no piso térreo (ou da plateia), escadas e pequenos acessos, corredores de acesso aos camarotes (dois pisos), camarotes (dois pisos), salão nobre e frisas.

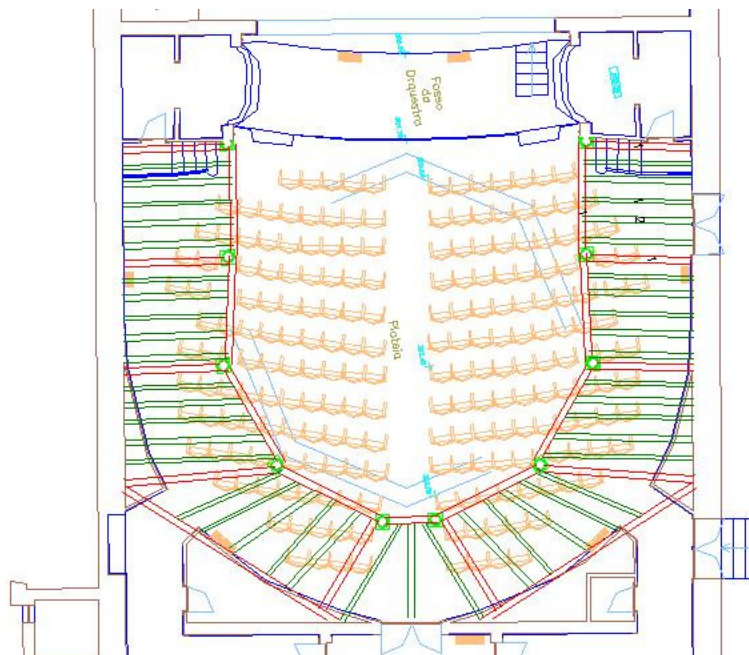


Fig. 6.9 – Planta com distribuição típica dos elementos estruturais dos pavimentos de madeira. A vermelho as vigas principais e a verde as secundárias.

Como se pode observar na figura anterior, a distribuição das vigas secundárias que suportam os pavimentos permite que estas se apoiem em vigas principais que formam uma estrutura rígida em direcção ao centro do edifício. Alguns destes vigamentos encontram-se apoiados, em pelo menos uma das suas extremidades, nas paredes laterais do edifício enquanto outros apoiam em paredes interiores resistentes ou em vigas suportadas pelos pilares estruturais.

Nos camarotes, os vigamentos dos pavimentos encontram-se apoiados em paredes estruturais numa das suas extremidades e em dois apoios intermédios. Um desses apoios é realizado em paredes de tabique interiores (que dividem a zona de corredores do camarote) colocadas a cerca de 1,8 metros da extremidade da viga, enquanto o outro apoio verifica-se a cerca de 0,5 metros, da mesma extremidade, em vigas principais que se encontram sustentadas nos pilares estruturais. Há, por isso, uma continuidade das vigas entre estas divisões, podendo o seu comprimento ir desde os 2,5 metros até aos 3,7 metros (figura 6.9).

No piso térreo (ou da plateia) os elementos estruturais dos pavimentos encontram-se apoiados em paredes estruturais laterais e em muros de alvenaria de pedra. De facto, estes muros absorvem as cargas deste pavimento para posteriormente as transmitir ao terreno.

Quanto ao acabamento, alguns dos pavimentos são encobertos inferiormente por tectos falsos em estuque ornamental, principalmente na zona de escadas e halls. Nos casos dos camarotes e seus acessos o revestimento dos pavimentos é em estuque simples, com acabamento liso e sem ornamentações.



#### 6.4.4 ESTRUTURA EM MADEIRA DA COBERTURA

A estrutura de madeira da cobertura é efectuada em madeira maciça de Castanho, sendo que o madeiramento (forro) no qual a tela de isolamento e as ripas são colocadas e onde, posteriormente, e a telha é assente foi realizado nesta reabilitação em placas de derivados de madeira. As pernas, linhas, escoras, madres e pendurais são todos em madeira e encontram-se interligados por elementos metálicos de forma a fortalecer essas mesmas ligações.



Fig. 6.10 – Estrutura principal em madeira da cobertura.

A estrutura da cobertura está dividida em três componentes essenciais, todas com objectivos e aplicações diferentes. A primeira diz respeito à segurança do telhado, ou seja, existe um sistema articulado em madeira que permite a sustentação do telhado. Este é composto por uma asna mista de desenho bastante original apoiada nas paredes estruturais do edifício e que se encontra separada do resto do sistema estrutural, tendo por isso apenas função de sustentação do telhado e de travamento das paredes laterais, fazendo com que todas as possíveis vibrações ou deformações existentes nessa estrutura não interfira com os outros elementos do edifício.

Ainda na cobertura está localizada outra das componentes características do edifício, o reverso da abóbada, que suporta o tecto do auditório. Esta cúpula encontra-se circunscrita pelos pilares que dão apoio aos balcões e ligada a estes através de escoras, e ao mesmo tempo suportada por ligações metálicas a elementos em madeira colocados perpendicularmente às madres da estrutura do telhado.



Fig. 6.11 – Reverso da abóbada e seu escoramento aos pilares (à esquerda) e sistema de suporte a elementos de madeira (à direita).

Por fim, existe um sistema que dá apoio ao tecto dos corredores e zona de palco que se caracteriza por um sistema de vigamento ao longo do piso no qual são afixados inferiormente os fasquios para colocação de estuque. Todo este sistema encontra-se separado dos elementos que servem de acesso à cobertura e à cúpula, sendo que para estes existem passadiços criados para esse efeito e com estrutura individual e separada dos outros elementos. O objectivo desta separação está ligado à necessidade de eliminar qualquer possibilidade de vibrações e deformações que poderão originar a criação de fendas e degradações nos estuques dos tectos do edifício e que foram integralmente restaurados.



Fig. 6.12 – Estrutura que serve de passadiço para circulação na zona de cobertura.

A cobertura original do edifício é em quatro águas. Actualmente possui apenas três águas, duas delas na zona central do edifício dividindo este em duas partes iguais, e uma terceira água com inclinação sobre a fachada do edifício, ocupando em planta a zona de entrada e das escadas, assim como o seu salão nobre.

#### 6.4.5 ESCADAS

O edifício possui uma escadaria principal em pedra com dois lanços simétricos e que permite o acesso entre o Hall de entrada e os pisos superiores. Têm uma geometria simétrica, havendo por isso lanços iguais dos dois lados do edifício que permitem a simetria estrutural e assim evitar esforços adicionais causadores de desequilíbrios de massas. Para além disso, a existência de duas escadarias no edifício permite aumentar a segurança em situações de evacuação dado que aumenta a velocidade de saída do edifício.

Para além da escadaria principal existem também pequenos lanços de escadas em madeira que permitem o acesso às frisas localizadas no rés-do-chão, ao nível do palco. Essas escadas são realizadas totalmente em madeira e fazem assim a ligação entre o piso térreo e as frisas, não havendo assim um grande impacte visual.



Fig. 6.13 – Escadas de acesso a frisa no rés-do-chão.

#### 6.4.6 PILARES DE SUPORTE EM MADEIRA

Estes pilares em madeira de Castanho dão sustentação aos camarotes, frisas e balcões do edifício. São 8 e têm cerca de 9,5 metros de comprimento total cada um (em mais do que uma peça), ou seja, dão suporte estrutural desde o rés-do-chão até à cobertura do edifício. A sua base está assente em uma fundação em pedra, que por sua vez, transmite os esforços ao terreno.

No topo dos pilares existe um travamento através de elementos de madeira que unem o topo dos pilares entre si. Esta solução permite uma maior solidarização entre os pilares e permite assim o melhor funcionamento estrutural do conjunto evitando possíveis encurvaduras e outras deformações. Para além disso, este sistema permite ajudar na segurança do tecto da sala de espectáculos dado que a eles está escorado a estrutura de sustentação da abóbada.



Fig. 6.14 – Topo dos pilares e sistema de travamento (à esquerda). Ao centro encontra-se pormenor de ornamentação do pilar e à direita a base do pilar.

A existência destes pilares permite a distribuição harmoniosa dos esforços provocados pelos balcões, a diminuição dos vãos dos pavimentos e garante o equilíbrio estático bastante directo das estruturas, reduzindo assim os esforços aplicados às paredes estruturais do edifício e aumenta a proximidade dos camarotes à zona cénica, assumindo por isso grande importância estrutural e funcional no edifício.

A geometria dos pilares é trapezoidal e encontram-se revestidos com produto preservador. Além disso, estão envolvidos em uma carcaça que tem como principal objectivo a ornamentação da sala, mas que também assume funções de protecção ao fogo destes elementos.



#### 6.4.7 PALCO

Esta estrutura estava realizada em madeira de Eucalipto e tinha cerca de 9,5 metros de comprimento por 14 metros de largura. Na altura de inspecção e diagnóstico da estrutura verificou-se que a madeira se encontrava em muito más condições, devido a ataques de humidade e a uma fraca ventilação existente nesta zona, tendo-se decidido proceder à sua integral substituição.

Actualmente, para a realização de espectáculos, é aconselhada a utilização de palcos de maiores dimensões e, por isso mesmo, o aumento do comprimento do palco constituiu uma das prioridades na reabilitação do edifício.

### 6.5 DIAGNÓSTICO DOS PAVIMENTOS ESTRUTURAIS

A visita à obra permitiu a detecção de algumas anomalias existentes nos pavimentos estruturais, sendo que, como já foi referido, a maioria destas estruturas se encontravam em relativas boas condições de conservação. Tratou-se de uma análise visual, não tendo havido por isso qualquer realização de ensaio sobre as estruturas. Para além disso, houve algumas impossibilidades que excluíram uma análise mais profunda de algumas zonas dos pavimentos, como por exemplo, a impossibilidade de levantamento de soalhos para inspecção das partes superiores dos vigamentos ou então a existência de máquinas, isolamentos protectores dos soalhos e outros obstáculos que impediram a observação directa das condições dos pavimentos (caso do salão nobre).

No entanto, foi possível observar algumas das patologias existentes e assim chegar a possíveis conclusões de diagnóstico e proposta de intervenção a efectuar nos pavimentos estruturais existentes.

#### 6.5.1 PAVIMENTO DO PISO ZERO

As vigas de madeira do piso zero estão assentes em muros enterrados no terreno em alvenaria de pedra sem qualquer separação visível entre estes e os elementos estruturais dos pavimentos e por isso muito expostos a fenómenos de humidade. No seu geral, apresentam um bom estado de conservação (talvez devido a não haver contacto directo com o terreno), excepto em alguns pontos, nomeadamente nos apoios, onde se verifica a ocorrência de um estado de degradação mais avançado nomeadamente devido à ocorrência de fungos de podridão. Este facto é devido essencialmente à falta de estanquidade à água nessas zonas e à pouca ventilação existente no piso.

Algumas das patologias mais encontradas nos vigamentos deste piso são as excessivas deformações encontradas a meio vão dos elementos e também problemas de empenamentos e fendas existentes em algumas peças. Dado tratar-se de um pavimento extenso, com cerca de 130 m<sup>2</sup>, este foi construído utilizando elementos de madeira longos e recorrendo a diversos entalhes para vencer alguns vãos. Apesar disso, foram utilizados esporadicamente alguns pequenos muros de alvenaria de forma a aumentar a quantidade de apoios para o pavimento, facto que reduziu em demasia a circulação de ar em toda a área do pavimento.



Fig. 6.15 – Pormenor do apoio das vigas em muros de alvenaria de pedra (à esquerda) e alguns problemas de empenamentos e fendas verificados (à direita).

Verificou-se, durante a visita ao local, que alguns dos entalhes se encontravam com graves problemas, facto que originou grandes deformações devido à carga elevada que se verificava neste piso. De facto, devido aos esforços elevados e também devido à diferença de cotas existentes no pavimento ocorreram aumentos importantes do valor dos de corte e torção dos elementos estruturais aumentassem. Como algumas peças de madeira se encontravam mal conectadas entre si, o que se verificou foi a ocorrência de roturas pontuais em pontos de união entre elementos do pavimento.

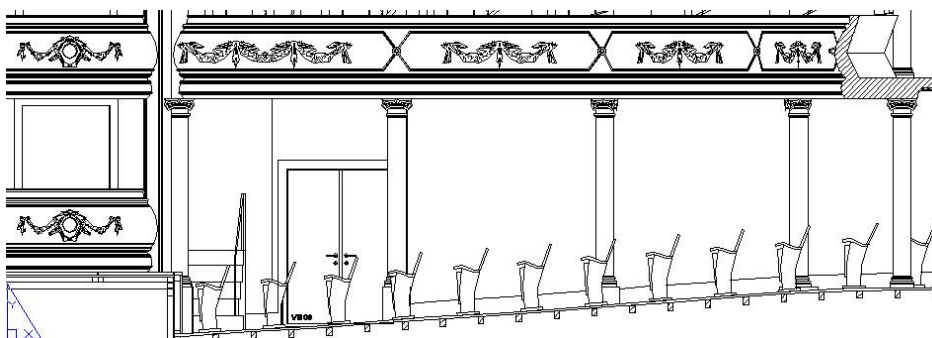


Fig. 6.16 – Corte que demonstra o desnível do pavimento entre a entrada na plateia e a zona do palco.

As tábuas do soalho encontravam-se em más condições e, em alguns pontos, até mesmo completamente degradadas e em avançado estado de degradação.

#### 6.5.2 PAVIMENTO DOS PISOS 1 E 2

Nestes pisos, os pavimentos existentes são os dos corredores de acesso aos camarotes e os dos camarotes propriamente ditos. Todos eles estão em relativa boa condição, nomeadamente o soalho, enquanto que algumas vigas apresentam alguns problemas. De facto, a necessidade de reabilitação de vigas e dos seus apoios é clara.

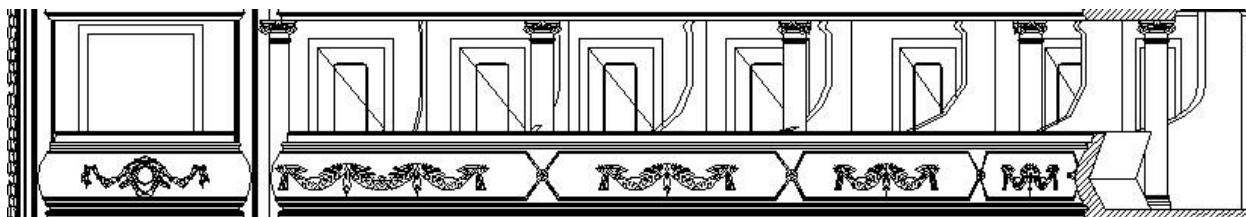


Fig. 6.17 – Corte que demonstra parte dos camarotes dos pisos 1 e 2.

A presença de degradações nas caixilharias de janelas e portas, a ruína parcial dos estuques, a presença de manchas nos elementos, a facilidade de quebra das vigas ou a mudança de cor das madeiras são sinais óbvios da presença de patologias nessas peças. De facto, alguns problemas foram detectados nos pavimentos relativos a estes pisos, sendo de destacar: - ataques de fungos; - ataques de térmitas; - ataques de carunchos; - presença de humidade; - fissuras exageradas; - apoios parcialmente degradados; - vigas partidas.



Fig. 6.18 – Zona de corredor de acesso aos camarotes com estrutura do pavimento superior visível (à esquerda) e padieira de porta degradada devido a deformações dos pavimentos (à direita).

Na figura 6.19 é possível visualizar alguns exemplos das patologias encontradas, tais como podridões, fendas, problemas de apoio e presença de humidade nos soalhos. São anomalias encontradas nos dois pisos, não havendo por isso qualquer destaque ou prioridade em nenhum dos pisos.







Fig. 6.19 – Algumas patologias encontradas nos vigamentos dos pavimentos dos pisos 1 e 2.

### 6.5.3 PAVIMENTO SALÃO NOBRE

O pavimento do salão nobre é de facto o que apresenta melhores condições, ou seja, são raras as patologias encontradas, tanto nos elementos estruturais como no soalho. De facto, o único ponto fraco a apontar localiza-se junto das janelas do salão, que devido ao mau isolamento às intempéries, fez com que alguma humidade entrasse na divisão e prejudicasse alguns pontos dos pavimentos.

Não ocorreram deformações com valor significativo neste piso dado que os tectos em estuque ornamental do Hall de entrada (que se localiza por baixo do salão nobre) se encontram em boas condições.



Fig. 6.20 – Pavimento do Salão Nobre.

## 6.6 SOLUÇÕES DE INTERVENÇÃO

### 6.6.1 OBJECTIVO

O objectivo para a realização de uma reabilitação dos pavimentos estruturais em madeira é, acima de tudo, o de garantir a segurança estrutural destes elementos e logo do edifício como um todo. Depois surge a questão da manutenção do património e o estabelecimento das condições mínimas de utilização, de forma a garantir níveis aceitáveis de conforto, higiene e segurança, que hoje em dia se exigem.

O edifício, apesar de ser do início do século, recebeu inúmeras alterações desde essa altura, adaptando-se assim às condições exigidas em cada época. Por isso mesmo, as condições dos pavimentos são bastante aceitáveis e não exigem cuidados de maior. Apesar disso, o surgimento de problemas justifica a sua correcção juntamente com a alteração e renovação do edifício em geral para que no futuro a sua manutenção seja mais fácil.

A necessidade de reforço é sugerida pelo facto de se verificar que os elementos existentes não têm condições de assegurar as funções para as quais foram dimensionados. Esses elementos têm de assegurar não só os estados limites de rotura, como devem também assegurar os estados limites de utilização, ou seja, é exigido a um edifício com este interesse cultural que os seus elementos permitam a sua utilização nas devidas condições de conforto.

A introdução de novas variantes ao projecto inicial do edifício ou a necessidade de alterar certos comportamentos estruturais por parte do edifício faz com que, por vezes, seja necessário fazer intervenções de correcção. Estas intervenções fazem com que haja uma alteração das estruturas em relação ao original de modo a satisfazer o projecto de execução. Neste caso de estudo, foram feitas algumas intervenções desse tipo das quais se destacam as mais importantes mais à frente neste ponto.

Pretende-se, com a reabilitação dos elementos estruturais dos pavimentos, que os níveis de vibração destes se reduzam, que o risco de ruína se elimine, que o comportamento ao fogo melhore e que as condições térmicas e acústicas dos espaços acompanhem essa subida. Apesar disso, o objectivo é manter a arquitectura do edifício melhorando apenas as suas condições de utilização. Assim sendo, são apresentadas de seguida algumas das soluções propostas para a intervenção estrutural nos pavimentos em madeira, e que em geral foram seguidas na obra acompanhada.

#### 6.6.2 CONDICIONANTES

As condicionantes existentes, para a reabilitação dos pavimentos em madeira, estão interligadas com o facto de ser necessário manter a estrutura original do edifício. De facto, é desejado pelo dono de obra que toda a arquitectura do edifício seja mantida para que assim o valor patrimonial e estético se mantenha.

Como os pavimentos se encontram, na sua maioria, em boas condições houve necessidade de retirar alguns dos soalhos para poder aceder à estrutura que serve de base ao pavimento. Assim, no piso térreo, dado não haver acesso pela parte inferior deste, surgiu a necessidade de retirar todo o soalho para o exterior do edifício e proceder ao seu armazenamento em condições devidas. Este facto, permitiu visualizar todas as patologias da estrutura principal do pavimento e proceder à sua reabilitação e correcção.

Os pavimentos dos pisos superiores mantiveram-se intactos, apenas foi retirado o estuque que fazia o acabamento da sua parte inferior. Assim sendo, todos os elementos estruturais destes pisos ficaram visíveis e acessíveis à intervenção (neste caso por baixo).

Quanto ao salão nobre, dado ser o pavimento que se encontra em melhores condições, foi mantido e serviu de sala de apoio e de armazenagem de materiais e máquinas. A sua intervenção foi deixada para a parte final da obra dado ser uma operação rápida e que não interfere com as estruturas dos outros pavimentos.

### 6.6.3 CORRECÇÕES

As técnicas de correcção estrutural são as também designadas por técnicas preventivas, ou seja, são técnicas usadas para prevenir, evitar ou atenuar possíveis danos. São assim usadas para melhorar as condições dos elementos, de forma a eles terem um comportamento adequado.

Foram realizadas algumas correcções que permitem que o edifício obtenha o desempenho desejado hoje em dia para uma sala de espectáculos e para que assim tenha as condições de utilização e de conforto requeridas pelos utilizadores. Assim sendo, uma das inovações introduzidas no edifício diz respeito à colocação de sistemas AVAC, que devido às condutas distribuídas pelo edifício fez com que algumas modificações tivessem de ser realizadas ao nível dos pavimentos, nomeadamente na remoção de alguns apoios, encurtamento de elementos e introdução de escoramentos com perfis metálicos para os vigamentos (figura 6.21). Apesar disso, a introdução de sistemas AVAC permitiu a criação de aberturas para entrada de ventilação natural (principalmente no piso térreo) e, ao mesmo tempo, poderá criar condições de temperatura e humidade mais favoráveis para as madeiras.



Fig. 6.21 – Colocação de escoramento para apoio dos elementos estruturais dos pavimentos devido a colocação de condutas do sistema AVAC.

Outra das correcções importantes ocorridas foi a criação de novos fasquiados para a colocação do estuque em zonas em que estes se encontravam demasiado degradados. Para isso, o tabuado antigo foi removido e tratado contra humidades e outros agentes inimigos das madeiras e de seguida colocadas as novas peças de suporte dos estuques bem conectadas aos elementos estruturais dos pavimentos.



Fig. 6.22 – Colocação de novos fasquiados de suporte de estuques.

Por último, importa referir a correcção de algumas ligações entre os pavimentos e as paredes de alvenaria. De facto, algumas destas ligações estavam efectuadas de modo incorrecto facilitando a entrada de humidades e o aparecimento de patologias graves nas zonas de apoio estrutural. Essas patologias são comuns em elementos que se localizam na zona oposta ao palco da plateia, nos vigamentos que sustentam o piso do 1.º andar e que se encontram apoiados nas paredes estruturais em pedra, junto de janelas ou portas com acesso para o exterior (figura 6.23).



Fig. 6.23 – Correcção de apoio do pavimento junto a porta para o exterior.

Outras correcções foram efectuadas, mas de menor importância. Aliás, o edifício foi bem dimensionado e executado na altura da sua construção. Procurou-se manter inalterável o desenho e as disposições construtivas originais, já que só se deve alterar as estruturas quando se pretende introduzir novas peças, quando se pretende modificar a disposição das mesmas ou então quando a opção de manter as estruturas, tal como estavam, traz de facto más condições de utilização ou de preservação futura desses elementos.

#### 6.6.4 REFORÇOS

A realização de reforços de elementos em estruturas de pavimentos acontece quando estes se encontram em estado de degradação avançado ou então quando se verifica que estes contêm secção resistente inferior à necessária para resistir às cargas verificadas na estrutura. Estes reforços devem ser efectuados de modo a não provocarem demasiado impacto visual e a não alterar, de uma maneira geral, a arquitectura do edifício.



Devido ao aparecimento de deformações exageradas, elementos partidos, fendas, problemas de apoio e degradações biológicas nos elementos dos pavimentos, há necessidade de intervenção nesses elementos de modo a que estes respondam aos actuais critérios mais apertados de segurança, qualidade, higiene e conforto desejados.

As técnicas de reforço ou também designadas de correctivas, ou seja, são realizadas após a ocorrência dos danos. Nestes casos deve-se proceder de forma a detectar primariamente as causas para a ocorrência destes problemas e de seguida resolvê-los. De facto, quando se trata, por exemplo, de degradações devido a agentes bióticos, interessa, antes de reforçar a peça em questão, efectuar um tratamento curativo à peça e eliminar possíveis entradas de água e todas as restantes eventuais causas de degradação.

De seguida são apresentadas algumas propostas de reforço para os pavimentos de madeira, sendo que algumas delas foram implantadas em obra e há, por isso, registos fotográficos dos reforços efectuados.

#### 6.6.4.1 Reforços a Meio Vão

Após inspecção do pavimento da plateia verificou-se que este apresentava deformações elevadas que provocavam pouco conforto na utilização por parte dos utentes, assim como ocorriam fendas importantes no soalho.

A solução ideal, dado se tratar de um pavimento com cargas elevadas e com vãos entre os vigamentos de valor considerável, foi o escoramento das vigas estruturais do pavimento. Para isso, surgiu a necessidade de regularizar o terreno com uma calda de cimento de forma a criar um terreno com um nível aproximadamente constante e também para diminuir o risco de humidades e de ataques biológicos através do terreno.



Fig. 6.24 – Reforço do pavimento do piso 0 com recurso a escoras de madeira.

As escoras têm dimensões de acordo com a deformação da viga, ou seja, de acordo com a flecha apresentada, o tamanho da escora deverá vencer essa flecha e a altura da viga ao terreno. A colocação de escoras foi efectuada a meio vão das vigas para que assim a sua eficácia fosse a maior possível.

Conjuntamente com as escoras, foram colocadas peças de madeira nos apoios das vigas nos muros de alvenaria a interligar as uniões entre vigas. Este método permite a obtenção de uma melhoria acentuada das condições de rigidez e de união entre elementos do pavimento do piso 0.

Em outros pisos, verificou-se, em alguns elementos, que estes se encontravam com uma secção reduzida, principalmente devido a ataques biológicos. Este facto poderia originar graves deformações durante a utilização do edifício, que se traduziria em degradações dos estuques, mau aspecto visual e, em casos mais graves, na rotura do elemento. Assim, surge a necessidade de reforçar estes elementos



e, para isso, foi usada a colocação de novos elementos juntamente aos já existentes ou então (no caso de podridões em estado avançado) procedeu-se à respectiva substituição por elementos do mesmo tipo de madeira e dimensões equivalentes.



Fig. 6.25 – Reforço de vigas com a colocação de novos elementos do piso 1.

#### 6.6.4.2 Reforço de Apoios

Alguns apoios apresentaram problemas importantes dos quais se destacam as ligações das vigas às paredes estruturais e algumas degradações biológicas ocorrentes nessas mesmas vigas. Por isso mesmo, existe a necessidade de reforçar esses pontos em alguns elementos dos pavimentos estruturais de madeira para que assim se consiga maior união e transmissão de forças entre os pavimentos e as paredes.

Para os elementos que estão pouco degradados e onde apenas a sua ligação às paredes se encontrava deficiente o reforço poderá ser efectuado com o uso de elementos metálicos aparafusados à peça de madeira e à alvenaria de pedra. Assim consegue-se maior conexão entre os elementos e evitam-se movimentos de rotação das peças de madeira, facto que poderia provocar graves problemas na estrutura dos pavimentos (nomeadamente na alteração da distribuição de esforços) e também no soalho, nomeadamente na falha ao nível do apoio ou então no seu levantamento (graves impactos visuais).



Fig. 6.26 – Reforço dos apoios das vigas dos pavimentos com elementos metálicos.

Algumas vigas encontravam-se com alguns problemas de degradação nas zonas de apoio, apesar de no vão se apresentarem, em geral, em boas condições. Nestes casos, a opção passou por reforçar as vigas nessas zonas com argamassas de epóxico. Essa argamassa permite reconstruir a viga na zona de apoio, melhorar as condições de aderência às paredes e ao mesmo tempo melhorar as condições higrotérmicas dessa ligação (figura 6.27).



Fig. 6.27 – Reforço de apoios com recurso a argamassas de epóxico.

Com a reabilitação do edifício houve necessidade de efectuar algumas alterações devido à colocação de novos equipamentos e máquinas. Assim, para a introdução destes equipamentos surge a necessidade de criar novos espaços no edifício, como por exemplo a diminuição da espessura das paredes estruturais em alguns pontos que tiveram de ser escolhidos com grande rigor para assim não interferir com a segurança do edifício. Com a abertura destes espaços algumas vigas que apoiavam na parede ficariam sem base de apoio. Assim sendo, há necessidade de introdução de um frechal em madeira que sirva de apoio a estas zonas (tipo cadeia – ver ponto 2.2.4).



Fig. 6.28 – Introdução de frechal de madeira para apoio de vigas dos pavimentos.

#### 6.6.5 ORIENTAÇÕES PARA A EXECUÇÃO

Após análise dos elementos estruturais dos pavimentos e do respectivo estado de conservação, tanto em termos globais como ao nível global, deverá ser definida uma estratégia de intervenção adequada.

A solução mais radical será, claro está, a completa substituição dos elementos que se considerem irre recuperáveis. Apesar desta ser uma solução eficaz, outras soluções de correcção e reforço deverão ser previamente avaliadas de forma a causar o menor impacto possível na estrutura do edifício (em intervenções com carácter de restauro, como neste caso).

Para cada tipo de problema encontrado neste caso de estudo existiriam outras soluções também elas eficazes. As opções tomadas tiveram em causa o facto de não haver, ao nível dos pavimentos, graves problemas que exigissem a utilização de métodos mais complexos. Além disso, todos os pavimentos se encontram completamente encobertos na sua parte inferior (por estuques) e, por isso mesmo, as intervenções visam resolver as anomalias detectadas da melhor forma e ao preço mais económico possível.

De qualquer das formas, a intervenção nos pavimentos do edifício deve ter em conta alguns passos fundamentais, sendo de destacar os seguintes:

- Limpeza e remoção de dejectos e sujidades presentes nos elementos de madeira;
- Registo e identificação dos elementos a necessitar de intervenção;
- Avaliação do estado de conservação dos elementos estruturais e dos soalhos e verificar a necessidade de remoção de algumas peças;
- Definir quais os elementos que deverão sofrer intervenções do tipo correctivo e quais os que deverão sofrer processos de reforço;
- Desinfestação, higienização e protecção preventiva dos elementos;
- Consolidação dos elementos recuperáveis através de métodos adequados de intervenção;
- Substituição dos elementos não recuperáveis;
- Após intervenção de reabilitação interessa lixar os pavimentos, de modo a garantir um bom acabamento superficial, devendo ser retirados cerca de 1 a 3 mm de madeira superficial.

Estes passos deverão ser devidamente respeitados na reabilitação de um edifício como este, dado o seu valor patrimonial e histórico. Assim, assegura-se que os pavimentos ficam nas devidas condições de utilização por parte das pessoas que irão frequentar este espaço. Essas condições dizem respeito a níveis de vibração adequados e reduzidos, isolamento acústico e térmico suficiente, nivelamento que evite acidentes e sobretudo a reparação e o reforço de segurança mecânica das estruturas.



# 7

## CONCLUSÃO

Apresentam-se de seguida os principais resultados da investigação efectuada neste trabalho, nomeadamente os relativos às tecnologias de reabilitação de pavimentos estruturais em madeira. Esses resultados visam avaliar e definir concretamente formas de apoio à decisão de manutenção ou substituição de elementos em madeira em pavimentos, recorrendo, preferencialmente, a técnicas o menos intrusivas e destrutivas possível.

Com este trabalho pretendeu-se sistematizar uma série de problemas que frequentemente afectam este tipo de estruturas e, associar a cada um deles técnicas de intervenção que visam a sua resolução. É notório que existe uma grande variedade de soluções de reabilitação/reforço para cada problema, destacando-se, pela sua importância neste trabalho, as que conduzem à não substituição integral dos pavimentos originais.

Quando se pretende associar técnicas de reforço de anomalias detectadas durante a fase de inspecção ao edifício, foi verificado que não há técnicas ideais, ou seja, a escolha de determinado tipo de intervenção depende de vários factores além do tipo de anomalia. Os factores fundamentais a analisar em paralelo com o fenómeno patológico em si incluem os custos associados a cada tipo de intervenção, o tipo de edifício e sua estrutura, as características históricas e patrimoniais do mesmo, a visibilidade futura das intervenções, a finalidade das mesmas, as condições de aplicação, condicionantes físicas, vantagens e desvantagens de cada intervenção e outras.

A introdução de um caso de estudo no trabalho permitiu uma maior percepção física do funcionamento e características dos pavimentos estruturais em madeira. Através de várias visitas à obra de reabilitação, foi possível conhecer melhor aspectos construtivos típicos em edifícios antigos e caracterizar adequadamente os seus elementos (vigas, soalhos, apoios, etc).

Foi evidenciado durante o trabalho, e comprovado nas visitas à obra, que as fases de Inspeção e Diagnóstico são, de facto, fundamentais. Através delas, é possível ter uma percepção do estado das estruturas de madeira e das principais causas de degradação das mesmas. Assim, é possível tomar decisões acerca de materiais e tecnologias de intervenção mais adequadas a cada caso. Para isso, a utilização de instrumentos de análise não destrutivos é fundamental dado permitirem um apoio à decisão após inspecção visual, embora a maioria destes não forneça valores quantitativos relevantes.

Dado que a área de reabilitação de edifícios antigos está em franca ascensão no nosso país, é possível concluir que a realização deste trabalho se reveste de especial interesse. De facto, o desenvolvimento

de uma síntese sobre a intervenção em pavimentos estruturais em madeira, existentes em grande parte dos edifícios antigos em Portugal, resulta num trabalho de grande utilidade prática. É no entanto de salientar que existem várias lacunas nesta matéria, tanto a nível bibliográfico como a nível de experiência comprovada das soluções tipo a realizar em obra.

De um modo geral, poderá dizer-se que esta dissertação visa proporcionar uma possível utilização como manual de apoio a projectistas que têm a seu cargo a reabilitação de pavimentos estruturais em madeira, designadamente no que diz respeito à informação relativa a métodos de intervenção típicos e ao conhecimento das principais patologias que afectam estas estruturas, apoiando assim a tomada de decisão.

Ao nível de desenvolvimentos futuros, o principal trabalho deste tipo que fica por fazer diz respeito às paredes, resistentes ou não, com estrutura base em madeira (janelas tipo taipa ou de tabique). O trabalho de Miguel Lopes em 2007, e este tratam respectivamente de estruturas de madeira de coberturas e de pavimentos. Produzindo um trabalho semelhante para paredes, ficariam cobertos os elementos estruturais fundamentais dos edifícios, ficando então por tratar as escadas e posteriormente todos os elementos não estruturais, tais como as portas, janelas, apainelados, tectos falsos, tectos estucados, portadas, armários para citar os mais fundamentais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] (1999). *Wood Handbook. Wood as an engineering material. General Technical Report 113, Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison.*
- [2] Amorim Faria, J. (2006) – *Documentação das Aulas de “Reabilitação de Estruturas de Madeira”*. DEC, FEUP, Porto.
- [3] Appleton, J. (2002). “Estudo de Diagnósticos de Edifícios. Da Experiência à Ciência”. *Seminário A Intervenção no Património, Práticas de Conservação e Reabilitação*, Porto.
- [4] Appleton, J. (2003). *Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e Tecnologias de Intervenção*, Edições Orion, Amadora.
- [5] Arriaga, F. (2002). *Intervencion en estructuras de madera*, AITIM, Madrid.
- [6] Botelho, J. (2006). “Avaliação não destrutiva da capacidade resistente de estruturas de madeira de edifícios antigos. Mestrado em Reabilitação do Património Edificado,” Mestrado em Reabilitação do Património Edificado. FEUP, Porto.
- [7] Branco, M. (2007). “Reforço sísmico de Edifícios de alvenaria”. IST, Lisboa.
- [8] Cachim, P. (2007). “Construções em Madeira”. Publinústria, Aveiro.
- [9] Carrió, J. M. (1998). *Tratado de Rehabilitación. Patología y Técnicas de Intervención. Elementos Estructurales. Master de Restauración Arquitectónica, Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas Madrid*, Editorial Munilla, Madrid.
- [10] Carvalho, A. (1996). “*Madeiras portuguesas. Volume 1: Estrutura anatómica, propriedades, utilizações.*” Instituto Florestal.
- [11] Ceccotti, A. (1995). *Detailing of timber structures in seismic areas. Timber Engineering – Step 2. Lecture D10, Almere Centrum Hout, Holanda.*
- [12] Cigni, G. (1981). *Nuove tecniche di consolidamento di trave di legno*, Edizione Kappa, Roma.
- [13] Costa, A. (2005). *Reabilitação de Estruturas. Apontamentos da disciplina. Mestrado em Reabilitação do Património Edificado*, FEUP, Porto.
- [14] Costa, A., Arêde, A., Guedes, J., Paupédio, E. (2005a). “Metodologia de Intervenção no Património Edificado.” *2º Seminário. A Intervenção no Património, Práticas de Conservação e Reabilitação*, Porto.
- [15] Costa, A., Guedes, J., Paupédio, E., Ilharco, T., Ornelas, C. (2007b). “Relatório de Inspeção e Diagnóstico – Escola Secundária Rodrigues de Freitas.” FEUP, Porto.
- [16] Costa, A., Paupédio, E., Ilharco, T., Lopes, V. (2007c). “Relatório de Inspeção e Diagnóstico – Igreja de Corpus Christi.” FEUP, Porto.
- [17] Costa, F. P. (1955). *Enciclopédia Prática da Construção Civil*, F. Pereira da Costa – Portugália Editora, Lisboa.
- [18] Coutinho, J. S. (1999). *Materiais de Construção I. Madeiras*. FEUP, Porto.
- [19] Cruz, H., Paula, R. (2006). “*Reabilitação pouco intrusiva de vigas de madeira*”, *Patorreb 2006*, Porto.

- [20] Cruz, J. D. (1993). “*Deterioração, reparação e reforço de estruturas de madeira. Tese de Mestrado.*” IST, Lisboa.
- [21] Dias, T. (2008). “*Pavimentos de madeira em edifícios antigos. Diagnóstico e intervenção estrutural.*” Mestrado em Reabilitação do Património Edificado. FEUP, Porto.
- [22] Duarte, A. C. R. (2004). “*Reabilitação de elementos estruturais de madeira com argamassa epoxídica armada. Tese de Mestrado.*” FCTUC, Coimbra.
- [23] Faria, A. (2006). *Apontamentos da disciplina de Reabilitação de Estruturas de Madeira*, Mestrado em Reabilitação do Património Edificado. 2.<sup>a</sup> Edição. FEUP, Porto.
- [24] Feio, A. (2005). “*Inspection and Diagnosis of Historical Timber Structures: NDT Correlations and Structural Behaviour.* Tese de Doutoramento.” Universidade do Minho, Guimarães.
- [25] Feio, A. (2007). “Engenharia e Vida”, n.ºs 37, 38 e 39 – Madeiras, Reabilitação Estrutural, Análise de Técnicas de Reforço em Estruturas de Madeira.
- [26] Gattesco, N., Nacorini, L. (2006). “*Strengthening and Stiffening Ancient Wooden Floors with Flat Steel Profiles.*” Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi.
- [27] Giuriani, E., Marini, A., Plizzari, G. (2005). *Experimental behaviour of stud connected wooden floors undergoing seismic action.* Restoration of Buildings and Monuments. Vol 11, N.1, 3-24.
- [28] Hoirish, M., Ribeiro, R. T. M. (2006). “*Restoration of wood structures of Federal University of Rio de Janeiro.*” Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi.
- [29] Ilharco, T., Guedes, J., Costa, A., Paupério, E., Miranda, L., Silva, B. (2006). “*Relatório preliminar de inspeção e diagnóstico do edifício do Largo de S. Domingos n.º80, 81 e 82. CESAP.*” FEUP, Porto.
- [30] Ilharco, T., Guedes, J., Costa, A., Paupério, E. (2007). “*Relatório preliminar de inspeção e diagnóstico do edifício do Palácio de Belomonte. CESAP.*” FEUP, Porto.
- [31] Johnson, S. M. (1980). Deterioration, Maintenance and Repair of Structures. Krieger Publishing Company, Florida.
- [32] Júnior, J. (2006). “*Avaliação não destrutiva da capacidade de estruturas de madeira de edifícios antigos.*” Mestrado em Reabilitação do Património Edificado. FEUP, Porto.
- [33] Landa, M. (1997). “*Comportamiento de las uniones encoladas para la reparación de elementos estructurales de madera que trabajan a flexión.*” Universidade de Navarra, Navarra.
- [34] Landa, M. (1999). *Nuevas técnicas de reparación de estructuras de madera. Elementos flexionados. Aporte de madera – Unión encolada I. Metodología de puesta en obra.* Revista de edificación n.º28, Pamplona.
- [35] LNEC (1997). “Pinho bravo para estruturas. Madeira para construção – Ficha M2.”
- [36] LNEC (1997). “Humidade na madeira. Madeira para construção – Ficha M9.”
- [37] Lombardo, S., Luparello, S. (1997). *Restauro Strutturale 1*, Dario Flavoccovio Editore, Palermo.



- [38] Lopes, M. (2007). “*Tipificação de soluções de reabilitação de estruturas de madeira em coberturas de edifícios antigos.*” Mestrado em Reabilitação do Património Edificado. FEUP, Porto.
- [39] Marini, A., Giuriani, E. (2006). “*Transformation of Wooden Roof Pitches into Antiseismic Shear Resistance Diaphragms.*” Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi.
- [40] Mettem, C. J. (1993). Repair of structural timbers. Part I. Test on experimental beam repairs, TRADA, Reino Unido.
- [41] Monteiro, M. (1991). “*Fafe dos «Brasileiros» (1860 – 1930) – Perspectiva histórica e patrimonial.*” Edição Imprensa Nacional.
- [42] Oliveira, A. L. “*Fafe e o seu concelho*”, Edição Câmara Municipal de Fafe.
- [43] Reis, M., Branco, F., Mascarenhas, J. (2006). “*Técnicas de reabilitação em estruturas de madeira.*” Patorreb 2006, Porto.
- [44] Rodrigues, R. (2004). “*Construções antigas de madeira: experiência de obra e reforço estrutural.*” Mestrado em Engenharia Civil, UM, Guimarães.
- [45] Segurado, J. E. S. (1942). Trabalhos de carpintaria civil. Biblioteca de Instrução Profissional. Livraria Bertrand, Lisboa.
- [46] Tampone, G. (1996). “*Il restauro delle strutture di legno*”, HOEPLI, Milão.
- [47] Tampone, G., Mannucci, M., Macchioni, N. (2002). “*Strutture di legno.*” De letretera editore.
- [48] Teixeira, J. J. L. (2004). Descrição do sistema construtivo de casa burguesa do Porto entre os séculos XVII e XIX. Contributo para uma história da construção arquitectónica em Portugal, Provas de aptidão pedagógica e capacidade científica. FAUP, Porto.

