

# **VALIDAÇÃO DA SEGURANÇA ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS EXISTENTES EM MADEIRA**

**HUGO MIGUEL OLIVEIRA SANTOS**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS**

---

Orientador: Professor Doutor José Manuel Marques Amorim de Araújo Faria

JUNHO 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, 2009.*

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.

Para os meus Pais, Irmã e Avós

*«Pedras no caminho? Guardo todas, um dia vou construir um castelo.»*

*Fernando Pessoa*



## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Professor José Amorim Faria, pela oportunidade que me deu de realizar este trabalho ao escolher este tema, e pela ajuda e contributo fundamental para que o objectivo desta dissertação fosse atingido. Sobretudo por ter proporcionado o meu envolvimento em obra, presenteando-me com uma experiência, sem dúvida, diferente, que me possibilitou viver um semestre de aprendizagem, descoberta, e adquirir uma perspectiva real da construção ao nível da reabilitação. Por todos os ensinamentos transmitidos, opiniões partilhadas, assim como pela permanente disponibilidade e motivação demonstrados, o meu muito obrigado.

Às Construções Vieira de Castro, Lda., nas pessoas do Encarregado Manuel Pereira e do Sr. José e, ainda, ao Sr. Élio, representante do promotor, que me possibilitaram estudar os pavimentos em madeira de um edifício antigo e trabalhar livremente em obra. Agradeço toda a compreensão e disponibilidade incansável sempre demonstradas.

À Arquitecta Adriana Floret, não só pelas informações dadas no local, mas também pelos documentos prontamente cedidos.

Aos meus amigos, por todas as vivências e partilha constante.

À Daniela, minha namorada, pela compreensão e apoio incondicional.

Finalmente, à minha família, por me ter tornado na pessoa que sou, pela educação e conselhos transmitidos, nunca esquecidos durante o meu percurso académico. E, essencialmente, por estar sempre presente, em todos os momentos, mesmo quando a distância não o permitia fisicamente, mas nunca deixando que esta se transformasse numa barreira.



## RESUMO

A maioria das construções antigas existentes no parque arquitectónico português é constituída por sistemas construtivos de madeira. Esta situação verifica-se particularmente nos centros históricos das cidades, onde existem muitos edifícios com valor patrimonial e que são uma contribuição importante para a malha urbana que, pela sua relevância, interessa ser recuperada.

Actualmente, grande parte desses sistemas estruturais em madeira ainda cumprem a sua função sendo, no entanto, fundamental avaliar o seu estado de conservação e a sua capacidade resistente, com vista a reabilitar e estabelecer hábitos de manutenção periódica desses elementos.

Contudo, há necessidade de desenvolver métodos expeditos que auxiliem o processo de reabilitação dos elementos estruturais existentes em madeira, para aplicar na validação da respectiva segurança estrutural.

Para avaliar a segurança estrutural dos elementos em madeira é fundamental interpretar correctamente os sistemas construtivos existentes nestes edifícios, para além das propriedades físicas e mecânicas e da escolha dos métodos e valores de cálculo mais adequados.

Apresenta-se neste trabalho uma proposta de classificação visual de madeira antiga, adaptada pelo orientador deste trabalho, o Professor José Amorim Faria e originalmente apresentada na dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil (MIEC) de Sónia Franco (Franco, 2008) [23], com vista à definição das peças a aprovar ou a rejeitar e à caracterização das respectivas propriedades mecânicas a adotar nos cálculos de verificação da segurança.

Neste trabalho, apresentam-se assim os conceitos fundamentais necessários à verificação estrutural de estruturas de madeira simples, tais como os pavimentos de edifícios antigos e aplica-se o método de classificação referido a uma situação concreta de um edifício no Porto, em processo de reabilitação.

No estudo de caso efectuado, avaliam-se genericamente as estruturas de madeira existentes e propõem-se soluções de recuperação para as mesmas.

Na aplicação da metodologia de classificação visual ao caso real, criaram-se fichas de classificação, a utilizar *in situ* e procedeu-se ao seu preenchimento para o caso concreto de um dos pavimentos do edifício.

O trabalho desenvolvido no estudo de caso ilustra a importância da explicação do funcionamento estrutural e a respectiva ligação com os defeitos das madeiras, sendo este o problema fundamental a enfrentar na avaliação de sistemas construtivos existentes em madeira.

Os resultados deste estudo são encorajadores e abrem novas perspectivas para o desenvolvimento da investigação neste assunto.

**PALAVRAS-CHAVE:** resistência de elementos estruturais em madeira, classificação visual *in situ*, defeitos das madeiras, pavimentos existentes em madeira antiga, valores de cálculo.



## ABSTRACT

The majority of the older buildings in the Portuguese architecture park consists in systems of timber construction. Particularly in the historic centers of cities where there are many buildings with heritage value and are an important contribution to the urban network which, by their relevance need to be restored.

Currently, most of these structural systems in wood still fulfill their function, however, it is crucial to evaluate their state of preservation and their strength capacity in order to rehabilitate and establish habits of regular maintenance of these elements.

Nevertheless, there is a need to develop methods that help expedited the process of rehabilitation of existing structural elements of wood to apply in the validation of the structural safety.

To evaluate the safety of structural elements in wood it is essential to correctly interpret the existing building systems, in addition to the physical and mechanical properties and the choice of values and methods of security safety.

It is presented in this paper a proposal for the classification of old wood, adapted by the supervisor of this work, Professor José Amorim Faria and originally presented in the dissertation of Integrated Master in Civil Engineering (MIEC) from Sónia Franco (Franco, 2008) [23], for the definition of structural pieces made of wood and to approve or to reject the characterization of their mechanical properties to be taken in the calculations for verification of safety.

In this paper work are presented the fundamental concepts necessary for structural verification of simple timber structures, such as wood floors, applying the method of classification referred to a concrete situation of a building in Oporto, in rehabilitation process.

In the case study conducted, the existing structures of wood are generally assessed and recover solutions for them are proposed.

In applying the method of visual grading to a real case study, classification sheets were set up to be used *in situ*, and carried to its completion for the case of one of the floors of the building.

The work done in the case study illustrates the importance of the structural explanation and its connection with the defects of wood, which is the fundamental problem to be faced in the evaluation of existing systems in wood construction.

The results of this study are encouraging and open new perspectives to the development of research in this area.

**KEYWORDS:** timber structural resistance, visual grading *in situ*, wood defects, old wood existing floors, values for calculation.



**ÍNDICE GERAL**

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. OBJECTO, ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO .....	1
1.2. BASES DO TRABALHO DESENVOLVIDO .....	3
1.3. ESTRUTURAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	3
<b>2. VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA ESTRUTURAL DE ESTRUTURAS DE MADEIRA EXISTENTES</b> .....	5
<b>2.1. MADEIRA PARA ESTRUTURAS</b> .....	5
2.1.1. ÁRVORE E MADEIRA SERRADA .....	5
2.1.2. CONSTITUIÇÃO MACRO E MICROSCÓPICA DA MADEIRA .....	7
2.1.3. PROPRIEDADES FÍSICAS MAIS RELEVANTES .....	11
2.1.3.1. Massa Volúmica Aparente .....	11
2.1.3.2. Teor de Água e Higroscopicidade .....	12
2.1.3.3. Retractilidade .....	13
2.1.3.4. Reacção e Resistência ao Fogo .....	15
<b>2.2. ESTABILIDADE DE ESTRUTURAS EM MADEIRA</b> .....	16
2.2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	16
2.2.2. METODOLOGIA DE CÁLCULO .....	16
2.2.3. ACÇÕES E COMBINAÇÕES DE ACÇÕES .....	18
2.2.4. CLASSES DE SERVIÇO E DURAÇÃO DAS ACÇÕES .....	18
2.2.5. VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA .....	20
<b>2.3. APRESENTAÇÃO GERAL DO EUROCÓDIGO 5: PARTE 1-1</b> .....	20
<b>2.4. METODOLOGIA DE VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE</b> .....	21
2.4.1. REQUISITOS BÁSICOS DE PROJECTO .....	21
2.4.2. ESTADOS LÍMITES .....	23
2.4.2.1. Estados Limites de Utilização .....	23
2.4.2.2. Estados Limites Últimos .....	25

2.4.3. VERIFICAÇÃO ATRAVÉS DO MÉTODO DOS COEFICIENTES PARCIAIS .....	25
2.4.3.1. Valor de cálculo de uma propriedade de um material.....	25
2.4.3.2. Valor de cálculo das resistências .....	27
2.4.2.3. Valores de $k_{mod}$ e $k_{def}$ .....	27

### **3. VALORES DE CÁLCULO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA.....**

<b>3.1. ESPECIFICIDADES DAS MADEIRAS.....</b>	<b>29</b>
3.1.1. DEFEITOS DA MADEIRA.....	29
3.1.1.1. Nós .....	29
3.1.1.2. Descaio.....	30
3.1.1.3. Inclinação do Fio.....	30
3.1.1.4. Fendas.....	31
3.1.1.5. Empenos.....	31
3.1.1.6. Ataques Bióticos .....	31
3.1.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS MAIS RELEVANTES .....	32
3.1.2.1. Resistência à Tração Paralela às Fibras ou Axial .....	33
3.1.2.2. Resistência à Compressão Paralela às Fibras ou Axial.....	33
3.1.2.3. Resistência à Tração Perpendicular às Fibras.....	34
3.1.2.4. Resistência à Compressão Perpendicular às Fibras .....	35
3.1.2.5. Resistência à Flexão Estática .....	35
3.1.3. PRINCIPAIS FACTORES QUE INFLUENCIAM AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS.....	36
<b>3.2. CLASSIFICAÇÃO DE MADEIRAS.....</b>	<b>36</b>
3.2.1. CLASSES DE QUALIDADE .....	36
3.2.2. CLASSES DE RESISTÊNCIA.....	38
3.2.3. RELAÇÃO ENTRE CLASSES DE QUALIDADE E CLASSES DE RESISTÊNCIA.....	40
<b>3.3. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE MADEIRA ANTIGA.....</b>	<b>42</b>
3.3.1. MÉTODO DEDUTIVO .....	42
3.3.2. MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS .....	43
<b>3.4. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA DE INSPECÇÃO E AVALIAÇÃO VISUAL <i>IN SITU</i>.....</b>	<b>47</b>
3.4.1. CONDIÇÕES LOCAIS PARA A REALIZAÇÃO DA INSPECÇÃO .....	47
3.4.2. MATERIAL NECESSÁRIO NUMA INSPECÇÃO <i>IN SITU</i> .....	47
3.4.3. OBJECTIVOS GERAIS DA INSPECÇÃO .....	48

3.4.4. AVALIAÇÃO <i>IN SITU</i> .....	49
<b>3.5. CLASSIFICAÇÃO VISUAL DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS POR OBSERVAÇÃO <i>IN SITU</i>.....</b>	<b>50</b>
3.5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	50
3.5.2. MÉTODO E CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO DE DEFEITOS .....	51
3.5.2.1. Medição de Nós .....	51
3.5.2.2. Medição da Inclinação do Fio .....	53
3.5.2.3. Medição do Descaio.....	54
3.5.2.4. Medição de Fendas.....	54
3.5.3. CLASSIFICAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS POR OBSERVAÇÃO <i>IN SITU</i> .....	56
3.5.3.1. Classificação para Madeira de Pinho.....	57
3.5.3.2. Classificação para Madeira de Carvalho e Castanho .....	57
3.5.3.3. Valores de Cálculo .....	58
<b>4. VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>61</b>
<b>4.1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>61</b>
<b>4.2. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO. ENQUADRAMENTO LOCAL. ARQUITECTURA .....</b>	<b>62</b>
4.2.1. INFORMAÇÕES GERAIS.....	62
4.2.2. DESCRIÇÃO ARQUITECTÓNICA.....	64
4.2.3. DESCRIÇÃO ESTRUTURAL .....	66
<b>4.3. INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA: LEVANTAMENTO.....</b>	<b>71</b>
4.3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	71
4.3.2. LEVANTAMENTO GEOMÉTRICO.....	71
4.3.3. INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO .....	74
4.3.4. RESUMO FINAL .....	78
<b>4.4. EXEMPLO DE CLASSIFICAÇÃO DE UM PISO EXISTENTE .....</b>	<b>79</b>
4.4.1. INTRODUÇÃO .....	79
4.4.2. MODO DE EXECUÇÃO.....	79
4.4.2.1. Material Utilizado.....	79
4.4.2.2. Procedimento .....	80
4.4.3. AVALIAÇÃO VISUAL DAS VIGAS DO PAVIMENTO DO 3º PISO (TECTO DO 2º ANDAR).....	81
4.4.4. CONDICIONANTES E DIFICULDADES DA CLASSIFICAÇÃO VISUAL <i>IN SITU</i> .....	84
<b>4.5. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO .....</b>	<b>85</b>

4.5.1. INTRODUÇÃO .....	85
4.5.2. PROPOSTA ESTRUTURAL.....	85
4.5.2.1. Reforço do Pavimento 1 .....	85
4.5.2.2. Reforço das Escadas .....	87
4.5.3. OUTROS ASPECTOS ANALISADOS .....	89
4.5.3.1. Abastecimento de Águas e Drenagem de Águas Residuais Domésticas.....	89
4.5.3.2. Segurança Contra Incêndios.....	90
<b>4.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>91</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>93</b>
5.1. PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS .....	93
5.2. PROPOSTAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO .....	95
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>103</b>
A1 – PLANTAS DE ARQUITECTURA .....	105
A2 – FICHAS DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL .....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

Fig. 2.1 – Árvores de folhosas (Adaptado de Paloma, 2007) [66] .....	6
Fig. 2.2 – Árvores de resinosas (Adaptado de Paloma, 2007) [66] .....	6
Fig. 2.3 – Madeira redonda .....	7
Fig. 2.4 – Madeira serrada .....	7
Fig. 2.5 – Direcções fundamentais da madeira (E31:1954) [17].....	8
Fig. 2.6 – Constituição do tronco (Adaptado de H. H. & M., 2005) [61].....	8
Fig. 2.7 – Estrutura microscópica das resinosas (Adaptado de Carvalho, 1996) [6].....	10
Fig. 2.8 – Estrutura microscópica das folhosas (Adaptado de Carvalho, 1996) [6].....	10
Fig. 2.9 – Ábaco de Kollmann (NP 616:1973) [43].....	12
Fig. 2.10 – Curvas de retracção (Coutinho, 1999) [9].....	14
Fig. 2.11 – Alterações da forma da secção transversal por retracção (Coutinho, 1999) [9].....	14
Fig. 2.12 – Empenos das peças de madeira serrada (Cruz, 1997b) [12] .....	15
Fig. 2.13 – Fluxograma explicativo do modo de execução de projectos de estruturas (Faria, 2002b) [20].....	17
Fig. 2.14 – Componentes da deformação de uma viga (EC5) [38].....	24

### CAPÍTULO 3

Fig. 3.1 – Presença de nós de diversas formas em vigas de pavimentos.....	30
Fig. 3.2 – Presença de fendas em vigas de pavimentos .....	31
Fig. 3.3 – Tracção perpendicular ao fio (Cachim, 2007) [5].....	34
Fig. 3.4 – Compressão perpendicular ao fio (Cachim, 2007) [5] .....	35
Fig. 3.5 – Atribuição de classes de resistência a madeiras em serviço (Botelho, 2006) [4].....	42
Fig. 3.6 – Técnicas de inspecção (Arriaga, 2002) [1].....	48
Fig. 3.7 – Esquema de uma viga de madeira (Adaptado de UNE 56544:2003) [52].....	50
Fig. 3.8 – Critério geral de medição de nós na face e no canto (UNE 56544:2003) [52] .....	51
Fig. 3.9 – Critério de medição e avaliação de nós de aresta (UNE 56544:2003) [52].....	52
Fig. 3.10 – Critério de medição e avaliação de nós de aresta, em caso de dúvida (UNE 56544:2003) [52].....	52
Fig. 3.11 – Critério de definição de nós agrupados (UNE 56544:2003) [52] .....	52
Fig. 3.12 – Critério de medição de nós agrupados (UNE 56544:2003) [52].....	53
Fig. 3.13 – Medição da inclinação do fio (UNE 56544:2003) [52].....	53

Fig. 3.14 – Modo de utilização do riscador (EN 1310:1997) [33] .....	54
Fig. 3.15 – Medição e avaliação do descaio (Adaptado de UNE 56544:2003) [52] .....	54
Fig. 3.16 – Medição do comprimento da fenda (Cruz, 1997b) [12] .....	55
Fig. 3.17 – Critério de medição de fendas (UNE 56544:2003) [52] .....	55
Fig. 3.18 – Critério de determinação de fendas repassadas (Franco, 2008) [23].....	56

## CAPÍTULO 4

Fig. 4.1 – Planta de localização do edifício em estudo (Adaptado de Floret, 2007) [71].....	62
Fig. 4.2 – Alçado principal e alçado lateral direito (Floret, 2007) [71] .....	63
Fig. 4.3 – Fachada principal .....	63
Fig. 4.4 – Planta do rés-do-chão (Floret, 2007) [71] .....	64
Fig. 4.5 – Planta dos pisos 1 e 2 (Floret, 2007) [71] .....	65
Fig. 4.6 – Planta do piso 3 (Floret, 2007) [71].....	65
Fig. 4.7 – Planta do piso recuado (Floret, 2007) [71].....	66
Fig. 4.8 – Mostra geral das paredes em alvenaria de pedra (granito) do rés-do-chão.....	67
Fig. 4.9 – Paredes em taipa de rodízio (Diário de Obra, 2009) [57] .....	67
Fig. 4.10 – Esquema estrutural tipo dos pavimentos (Costa, 1955) [8] .....	67
Fig. 4.11 – Exemplo da entrega das vigas dos pavimentos às paredes de granito (pisos inferiores) ..	67
Fig. 4.12 – Pavimento do piso 2 (tecto do 1º andar) .....	68
Fig. 4.13 – Pavimento do piso 3 (tecto do 2º andar) .....	68
Fig. 4.14 – Pavimento do piso 1 (tecto do rés-do-chão) .....	68
Fig. 4.15 – Pormenor do pavimento do piso 1 (tecto do rés-do-chão).....	68
Fig. 4.16 – Planta e corte longitudinal tipo da escada (Costa, 1955) [8].....	69
Fig. 4.17 – Aspecto geral das escadas .....	69
Fig. 4.18 – Pormenor de patim (patamar intermédio) .....	69
Fig. 4.19 – Cobertura do corpo principal .....	70
Fig. 4.20 – Tecto do piso 3 (pavimento da trapeira).....	70
Fig. 4.21 – Lado e alçado tipo da trapeira (Costa, 1955) [8].....	70
Fig. 4.22 – Planta estrutural do pavimento do piso 1 (tecto do rés-do-chão) .....	72
Fig. 4.23 – Planta estrutural do pavimento do piso 2 (tecto 1º Andar).....	72
Fig. 4.24 – Planta estrutural do pavimento do piso 3 (tecto 2º Andar).....	72
Fig. 4.25 – Planta estrutural esquemática da caixa de escadas .....	74
Fig. 4.26 – Nova construção do corpo secundário do edifício .....	74

Fig. 4.27 – Deformações das madres da cobertura.....	76
Fig. 4.28 – Ataques de caruncho nas vigas .....	76
Fig. 4.29 – Novo pavimento da antiga trapeira .....	77
Fig. 4.30 – Escadas do apartamento duplex.....	77
Fig. 4.31 – Nova cobertura do corpo principal (futura janela da antiga trapeira).....	77
Fig. 4.32 – Nova cobertura do corpo secundário .....	77
Fig. 4.33 – Elementos de recolha de águas da antiga cobertura .....	78
Fig. 4.34 – Degradação da viga de patamar final (3º piso – a eliminar) .....	78
Fig. 4.35 – Marcação das vigas com ajuda de escada.....	80
Fig. 4.36 – Utilização do humidímetro.....	80
Fig. 4.37 – Medição de nós .....	80
Fig. 4.38 – Medição de fendas.....	80
Fig. 4.39 – Planta estrutural do pavimento em estudo.....	82
Fig. 4.40 – Ficha tipo de classificação visual por observação <i>in situ</i> .....	83
Fig. 4.41 – Alçado representativo da solução de reforço do pavimento do 1º andar .....	86
Fig. 4.42 – Corte AA' da solução de reforço do pavimento do 1º andar .....	87
Fig. 4.43 – Alçado representativo da solução de reforço das escadas .....	88
Fig. 4.44 – Corte AA' da solução de reforço das escadas.....	88
Fig. 4.45 – Planta esquemática da drenagem de águas residuais domésticas (rés-do-chão).....	89

#### **OUTROS CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS, ESQUEMAS E QUADROS**

Todas as fotografias, esquemas e quadros não referenciados são da responsabilidade do Autor desta dissertação.



## ÍNDICE DE QUADROS

### CAPÍTULO 2

Quadro 2.1 – Classes de risco (Adaptado da NP EN 335-1:1994) [47].....	19
Quadro 2.2 – Classes de serviço (Adaptado de EC5) [38].....	19
Quadro 2.3 – Classes de duração das acções (Adaptado de EC5) [38].....	19
Quadro 2.4 – Valores limite de deformadas em vigas (Adaptado de EC5) [38].....	25
Quadro 2.5 – Coeficientes parciais de segurança (Adaptado de EC5) [38].....	26
Quadro 2.6 – Valores de $k_{mod}$ (Adaptado de EC5) [38].....	27
Quadro 2.7 – Valores de $k_{def}$ (Adaptado de EC5) [38].....	27

### CAPÍTULO 3

Quadro 3.1 – Normas de classificação e classes de qualidade (Adaptado de Franco, 2008) [23].....	38
Quadro 3.2 – Propriedades físicas e mecânicas de madeira resinosa para estruturas (NP EN 338:2003) [49].....	39
Quadro 3.3 – Propriedades físicas e mecânicas de madeira folhosa para estruturas (NP EN 338:2003) [49].....	40
Quadro 3.4 – Relação entre classes de qualidade e classes de resistência (NP EN 1912:2003) [44].	41
Quadro 3.5 – Classes de resistência a usar no cálculo de estruturas de madeira portuguesa.....	43
Quadro 3.6 – Escolha do método não destrutivo em função do objectivo de inspecção (Botelho, 2006) [4].....	46
Quadro 3.7 – Classificação visual <i>in situ</i> para madeira de pinho (Franco, 2008) [23].....	57
Quadro 3.8 – Classificação visual <i>in situ</i> para madeira de carvalho e castanho (Franco, 2008) [23]...	57
Quadro 3.9 – Valores de cálculo para madeira de pinho (Franco, 2008) [23].....	58
Quadro 3.10 – Valores de cálculo para madeira de carvalho e castanho (Franco, 2008) [23].....	59

### CAPÍTULO 4

Quadro 4.1 – Dimensões das VPE's do pavimento do piso 1 (ver Figura 4.22).....	73
Quadro 4.2 – Dimensões das VP's do pavimento do piso 1 (ver Figura 4.22).....	73
Quadro 4.3 – Dimensões das VS's do pavimento do piso 1 (ver Figura 4.22).....	73
Quadro 4.4 – Dimensões das C's do pavimento do piso 1 (ver Figura 4.22).....	73
Quadro 4.5 – Dimensões das vigas principais do pavimento 3 (ver Figura 4.39).....	81



## **ACRÓNIMOS**

$C_i$  – Cadeira i

EC0 – Eurocódigo 0

EC1 – Eurocódigo 1

EC5 – Eurocódigo 5

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

hEN – Normas Europeias Harmonizadas

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MIEC – Mestrado Integrado em Engenharia Civil

PSF – Ponto de Saturação das Fibras

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

$VE_i$  – Viga da caixa de escadas i

$V_i$  – Viga i

$VP_i$  – Viga principal i

$VPE_i$  – Viga principal da caixa de escadas i

$VS_i$  – Viga secundária i



**SÍMBOLOS**

$\rho_{\omega}$  – Massa volúmica aparente, para um determinado teor de água [kg/m<sup>3</sup>]

$P_{\omega}$  – Peso do provete de madeira, para um determinado teor de água [kg]

$\omega$  – Teor de água [kg/kg ou kg/m<sup>3</sup>]

$V_{\omega}$  – Volume do provete de madeira, para um determinado teor de água [m<sup>3</sup>]

$k_{mod}$  – Factor de modificação da resistência, que tem em conta a duração da carga e o teor de água do material

$k_{def}$  – Factor para a avaliação da deformação devido à fluência de acordo com a classe de serviço do material

T – Temperatura [°C]

HR – Humidade relativa [%]

$\gamma_M$  – Coeficiente parcial de segurança

$E_{mean}$  – Valor médio do módulo de elasticidade

$G_{mean}$  – Valor médio do módulo de distorção

$K_{ser}$  – Valor médio do módulo de deslizamento [N/m]

$u_{inst}$  – Deformação instantânea

$u_{fin}$  – Deformação final

$\psi_{0,i}$  – Coeficientes para o valor da combinação de acções variáveis

$\psi_{2,i}$  – Coeficientes para o valor quase-permanente das acções variáveis

$u_{inst,G}$  – Deformação instantânea para a acção  $G$

$u_{inst,Q,i}$  – Deformação instantânea para a acção  $Q_i$

$E_{mean,fin}$  – Valor médio final do módulo de elasticidade

$G_{mean,fin}$  – Valor médio final do módulo de distorção

$K_{ser,fin}$  – Valor médio final do módulo de deslizamento

$w_{net,fin}$  – Deformada final

$w_{inst}$  – Deformada instantânea

$w_{creep}$  – Deformada devido à fluência

$w_c$  – Pré-deformada

$w_{fin}$  – Deformada final total

$X_d$  – Valor de cálculo de uma propriedade de resistência

$X_k$  – Valor característico de uma propriedade de resistência

$K_u$  – Módulo de deslizamento instantâneo

$E_d$  – Valor de cálculo do módulo de elasticidade

$G_d$  – Valor de cálculo do módulo de distorção

$R_d$  – Capacidade resistente

$R_k$  – Valor de cálculo da capacidade resistente

$f_{m,k}$  – Resistência característica à flexão na direcção do fio

$f_{c,0,k}$  – Resistência característica à compressão na direcção do fio

$f_{t,0,k}$  – Resistência característica à tracção na direcção do fio

# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. OBJECTO, ÂMBITO E JUSTIFICAÇÃO

A utilização da madeira como material simples, usado na construção de estruturas, remonta aos primórdios da Humanidade, muito antes de se recorrer à pedra para o mesmo fim. No entanto, fruto da evolução e desenvolvimentos históricos da Humanidade, a maior parte destas construções desapareceram, sobretudo, na sequência de incêndios e guerras, permanecendo apenas vestígios das constituídas por pedra.

Efectivamente a madeira foi, durante longos períodos da evolução do Homem, o único material de construção capaz de vencer grandes vãos e também aquele que permitia maior versatilidade de soluções e processos construtivos. Esta hegemonia apenas foi travada pela Revolução Industrial e pela descoberta do aço como material construtivo. Todavia, a madeira continuou a ser aplicada em sistemas construtivos de estruturas de pequena dimensão, nomeadamente em edifícios correntes para habitação, ocorrendo mesmo uma evolução rápida das suas técnicas construtivas e da sua trabalhabilidade, através do aparecimento de novas ferramentas metálicas que permitiam serrar e moldar facilmente esta matéria-prima.

A diversidade de construções em madeira que resistiram em todo o mundo, até aos nossos dias, em bom estado de conservação e desempenhando as suas funções adequadamente, representam um testemunho inegável de que a madeira é um material de grande qualidade e com excelentes características mecânicas e de durabilidade.

Neste contexto, compreende-se que a maioria das construções antigas existentes no parque arquitectónico português seja constituída por sistemas construtivos de madeira. Especialmente nos centros históricos das cidades, onde existem muitos edifícios com valor patrimonial e que são uma contribuição importante para a malha urbana que, pela sua relevância, interessa ser recuperada. Em geral, estes edifícios foram durante séculos tradicionalmente construídos com estruturas elevadas acima das fundações com paredes de alvenaria de pedra e todos os restantes elementos em madeira, incluindo algumas paredes.

Actualmente, grande parte desses sistemas estruturais em madeira ainda cumprem a sua função. No entanto, é fundamental avaliar o seu estado de conservação e a sua capacidade resistente, com vista a reabilitar e estabelecer hábitos de manutenção periódica desses elementos. A recuperação destes edifícios passa assim, muitas vezes, pelo reaproveitamento integral dos elementos estruturais em madeira existentes.

Para que a validação da segurança estrutural desses edifícios possa ser feita, à luz dos regulamentos actuais e usando metodologias de cálculo modernas, é necessário avaliar o estado fitossanitário dos

elementos estruturais em madeira bem como determinar as respectivas propriedades mecânicas e dimensões a usar no cálculo. Exemplo disso é a detecção dos ataques bióticos ocorridos nos elementos estruturais em madeira e que obrigam à retirada de alguma espessura, muito degradada, das secções existentes, para que possam ser reaproveitadas.

A justificação desta dissertação insere-se na problemática da escolha das metodologias a aplicar na validação da segurança estrutural de elementos estruturais existentes em madeira. Há portanto, a necessidade de utilizar métodos expeditos que auxiliem o processo de reabilitação de elementos estruturais em madeira existentes. Apresenta-se neste intuito uma proposta de classificação visual de madeira antiga, adaptada pelo orientador deste trabalho, o Professor José Amorim Faria, a partir de um método originalmente apresentado em 2008 na dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Civil (MIEC) de Sónia Franco (Franco, 2008) [23], com vista à definição das peças a aprovar ou rejeitar e à caracterização das suas propriedades particulares.

Neste sentido, a classificação visual surge como um exemplo de avaliação de peças de madeira estrutural de edifícios existentes, que estão a passar por processos de reabilitação dos seus sistemas construtivos, havendo a necessidade de se avaliar o estado de conservação e a capacidade resistente dos elementos estruturais que se pretendem preservar.

Desde que se conhece o uso da madeira para fins estruturais que o homem criou formas mais ou menos primitivas de classificação da aptidão da madeira, por inspecção visual, com vista à sua utilização como material resistente. Porém, apenas no início do séc. XX, surgiram as primeiras regras de classificação de madeiras: nos EUA, a primeira norma de classificação de madeiras data de 1927 e, na Europa, surgiram as primeiras normas de classificação durante a década de 30. A normalização existente e a que tem vindo a surgir diferem pelos critérios considerados, principalmente pelo grande número de espécies de árvores existentes, pelas propriedades da madeira e pelas tradições construtivas locais. Transversal a todos estes documentos pode dizer-se que a classificação se baseia na identificação e medição dos defeitos das peças de madeira (Cachim, 2007) [5].

Esta dissertação tem o formato de estudo de caso e tem em vista a avaliação da aplicabilidade do citado método e a verificação de estruturas de madeira existentes. O caso prático estudado refere-se a um prédio localizado no Largo dos Lóios, na parte antiga da baixa da cidade do Porto, especificamente do seu centro histórico que foi classificado Património Mundial da Humanidade, em 1996, pela UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). O comité decidiu nomear este local com base no critério cultural, por considerar que este apresenta um excepcional valor universal. O seu tecido urbano e os seus diversos edifícios históricos são um testemunho do notável desenvolvimento, ao longo do último milénio, de uma importante cidade europeia que é banhada a oeste pelo Oceano Atlântico, que potencializou a criação de laços culturais e expansão de inúmeras rotas comerciais [70].

O âmbito do trabalho, ao nível de validação da proposta de classificação visual, aplica-se apenas a pavimentos existentes, tradicionalmente concebidos por madeira maciça na forma redonda e na forma serrada. Em geral, o estado de degradação dos pavimentos é condicionado pela integridade das coberturas existentes também em madeira, que são um dos grandes factores responsáveis pelo melhor ou pior estado de conservação dos elementos internos dos edifícios. A avaliação da segurança estrutural dos pavimentos passa pela classificação das suas peças constituintes e pela correcta interpretação do seu funcionamento estrutural de forma a identificar as zonas críticas, para se poder actuar sobre elas.

Para colocar em prática o referido, avalia-se assim o caso estudado numa perspectiva global, propondo-se a intervenção a efectuar a partir de uma base arquitectónica existente. Explica-se a

metodologia geral de intervenção a considerar no projecto de estruturas, avaliando-se assim coberturas, escadas e pavimentos. A metodologia completa é aplicada *in situ* apenas ao pavimento do tecto do 2º andar (pavimento do 3º piso do edifício estudado).

Avaliou-se globalmente o problema estrutural a resolver e prepararam-se propostas de intervenção para pavimentos e escadas. Não se prepararam análises semelhantes para a cobertura, por se entender que a mesma não teria viabilidade de recuperação, tendo sido explicada a razão desta opção através da ilustração dos problemas existentes com fotografias.

Em resumo, esta dissertação tem por primeiro objectivo principal, a apresentação de uma metodologia de avaliação de segurança das estruturas de madeira existentes num edifício antigo, recorrendo-se a um caso real concreto e a um dos seus pavimentos existentes para melhor ilustrar e explicar as dificuldades que interessa detectar e resolver. Tem ainda como segundo objectivo principal a aplicação do método de classificação visual de madeira antiga, que se designa actualmente por “método Amorim Faria”<sup>1</sup>.

## **1.2. BASES DO TRABALHO DESENVOLVIDO**

O trabalho desenvolvido nesta dissertação apoiou-se essencialmente na consulta de diversas publicações referidas na bibliografia, numa exaustiva pesquisa normativa no domínio das madeiras e, por fim, no estudo de um caso prático de reabilitação.

Foram consultadas diversas referências bibliográficas, desde trabalhos recentes de teses de doutoramento e de mestrado, a documentos relacionados com as madeiras em geral e das estruturas de madeira em particular. Também se realizou uma pesquisa de normas nacionais e europeias e de documentos orientadores publicados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Destacam-se, neste contexto, as teses de mestrado de Jerónimo Botelho [4], Tiago Dias [16] e a dissertação de mestrado integrado de Sónia Franco [23]. As normas de madeiras [30] a [52] e as fichas de especificação do LNEC [11, 12 e 13], constituíram também documentos fundamentais, estudados no âmbito desta dissertação.

Para além destas referências, o trabalho desenvolvido no caso de estudo do prédio do Largo dos Lóios, no Porto, apoiou-se no, actualmente designado “método Amorim Faria”, orientador desta dissertação. Este método representa uma proposta de classificação visual de peças estruturais de madeira antiga, baseado na limitação dos respectivos defeitos. Aplica-se a madeira nacional de pinho, castanho e carvalho.

## **1.3. ESTRUTURAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos principais:

O presente capítulo introduz uma breve exposição do trabalho, apresentando-se os objectivos que se pretendem alcançar, a razão pela qual se justifica a sua realização e os meios utilizados, assim como uma síntese do seu conteúdo.

---

<sup>1</sup> Originalmente apresentado na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) em 2008, na dissertação de MIEC de Sónia Franco [23].

No Capítulo 2, dão-se a conhecer noções gerais acerca da madeira atendendo à sua origem, composição e propriedades físicas, procurando-se demonstrar o seu papel e desempenho como material estrutural. Apresenta-se o Eurocódigo 5 (EC5), fundamental na verificação estrutural de elementos de madeira simples, expondo-se sinteticamente a metodologia seguida na verificação de estabilidade de estruturas.

O Capítulo 3 descreve todas as especificidades e propriedades mecânicas da madeira, com vista a expor as metodologias de classificação visual de madeiras *in situ* existentes e os desenvolvimentos que se têm realizado a este nível, isto é, apresenta-se um estado da arte neste domínio.

No Capítulo 4, descreve-se um caso prático de estudo, realizado pelo Autor durante a primeira metade do ano de 2009, relativo à classificação visual *in situ* das vigas de pavimentos em madeira, de um edifício localizado no Centro Histórico do Porto. Esta classificação apresenta como objectivo principal avaliar visualmente as vigas dos pavimentos existentes, através do preenchimento de fichas de classificação, tendo em vista validar a respectiva segurança estrutural e recolher informação básica fundamental, a qual permite sustentar a realização de propostas de intervenção. Inclui-se uma descrição das dificuldades sentidas e das condicionantes existentes *in situ* no decorrer deste processo.

Por fim, o Capítulo 5 descreve as conclusões da dissertação onde são sintetizados os principais resultados obtidos ao longo do trabalho e é avaliado o cumprimento dos objectivos inicialmente propostos. Apresentam-se, ainda, algumas sugestões para desenvolvimentos futuros da dissertação, que se podem genericamente resumir como sugestões de investigação na área da certificação de peças estruturais de madeira antiga, com destaque para a classificação visual.

## 2

## VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA ESTRUTURAL DE ESTRUTURAS DE MADEIRA EXISTENTES

### 2.1. MADEIRA PARA ESTRUTURAS

#### 2.1.1. ÁRVORE E MADEIRA SERRADA

Existem variadas aplicações da madeira em estruturas, principalmente devido ao desenvolvimento de produtos derivados da madeira, que têm vindo a ganhar importância relativamente aos métodos tradicionais de obtenção de madeira maciça. Actualmente, a madeira tornou-se num material pouco utilizado como elemento estrutural por ser considerada pouco durável e de baixa qualidade. Existe, portanto, no seio do sector da construção civil, uma rejeição à utilização da madeira em estruturas, com receio que esta não tenha capacidade de acompanhar e dar resposta aos desafios que hoje se enfrentam. Talvez haja uma certa apreensão na sua aplicação por se pensar que já não é competitiva relativamente a outras opções, por se tratar de um material heterogéneo e anisotrópico, cuja origem advém de um organismo vivo, a árvore.

De facto, não há duas árvores iguais, dada a pluralidade de factores que influenciam o seu desenvolvimento e sendo a madeira obtida a partir da transformação de um organismo vivo complexo, será essencial, para a sua correcta utilização como material estrutural, que exista conhecimento da sua composição, para se estar consciencializado das suas principais propriedades físicas e mecânicas e, conseqüentemente, das suas limitações.

As madeiras têm a sua origem em duas das 17 divisões do Reino Plantae (ou Vegetal), de acordo com a sua constituição, nomeadamente no modo de disposição das células do tecido lenhoso. Estes dois grandes grupos são: as Gimnospérmicas, nas quais se destaca a classe das Coníferas, também conhecidas por Resinosas (o Pinho – *Pinus pinaster* Ait, o Pinho Manso – *Pinus pinea* Linnaeus, a Casquinha – *Pinus silvestris* Linnaeus, entre outros) e as Angiospérmicas, que abrangem todas as Folhosas (o Castanho – *Castanea sativa* Mill, o Carvalho – *Quercus robur* Linnaeus, o Eucalipto – *Eucalyptus globulus* Labill., entre outros), sendo a mais relevante a classe das Dicotiledóneas.

As Angiospérmicas, vulgarmente conhecidas por Folhosas (Figura 2.1), ou madeiras duras, podem subdividir-se em Monocotiledóneas, compostas por madeiras muito fibrosas, de baixa resistência estrutural (palmeiras ou bambus), onde se inserem as madeiras duras e em Dicotiledónias, que englobam madeiras tanto de baixa como de elevada qualidade, nas quais se enquadram as Folhosas, as únicas que produzem madeira com estrutura lenhosa. Caracterizam-se por serem plantas com sementes cobertas, flores com pétalas, apresentarem folhas persistentes ou caducas, com forma plana e uma rede de finas nervuras e terem frutos de grande diversidade de forma, de textura e de cor.



Fig. 2.1 – Árvores de folhosas (Adaptado de Paloma, 2007) [66].

As Gimnospérmicas, normalmente denominadas de Resinosas (Figura 2.2) ou madeiras brandas, podem ainda ser divididas em quatro grupos, nas quais duas delas têm aptidão para serem utilizadas como elemento estrutural, destacando-se as Coníferas. Estas distinguem-se por serem plantas com sementes desprotegidas, normalmente com folha perene, de forma estreita e ponta aguçada, com frutos em forma de cone e muitas vezes com escamas lenhosas. São as mais utilizadas em estruturas, devido à sua boa resistência à compressão e elevada resistência à tracção.

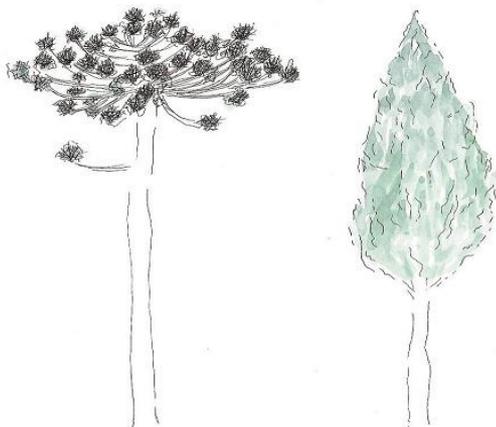


Fig. 2.2 – Árvores de resinosas (Adaptado de Paloma, 2007) [66].

No próximo ponto desta dissertação serão abordadas outras características relativas à estrutura intrínseca e extrínseca dos dois tipos de madeiras referidos, as Resinosas e as Folhosas, que permitirão explorar melhor as suas diferenças.

Consoante a geometria da secção transversal obtida a partir da madeira maciça, podem distinguir-se duas formas características da madeira: na forma redonda (Figura 2.3) ou na forma serrada (Figura 2.4). A madeira redonda é obtida directamente a partir dos troncos, excluindo-se a casca para se obter uma forma final cilíndrica, depois de trabalhada. A madeira na forma serrada é obtida, tal como o nome indica, serrando os troncos, de maneira a obter secções de forma quadrada ou rectangular.



Fig. 2.3 – Madeira redonda.



Fig. 2.4 – Madeira serrada.

De facto, as peças de madeira serrada são as mais utilizadas na construção, por permitirem vencer vãos de cerca de 7 metros. Na maioria dos casos, as peças de madeira quadrada são utilizadas como colunas e as de secção rectangular como vigas.

#### 2.1.2. CONSTITUIÇÃO MACRO E MICROSCÓPICA DA MADEIRA

As características de uma árvore, dadas pela sua estrutura e propriedades, são diversas e variam de acordo com a sua espécie, a sua idade e as condições do seu desenvolvimento.

Devido à forma como se dá o crescimento natural de uma árvore, esta apresenta características distintas segundo os três eixos direccionais: a direcção axial ou longitudinal, que permite o transporte da seiva, a direcção radial onde se dá o desenvolvimento dos traqueídeos que permitem a comunicação tridimensional entre as diversas camadas de células e reforçam a consistência estrutural e a direcção tangencial na qual se dá a multiplicação celular, ocorrendo o crescimento diametral (Figura 2.5).



Fig. 2.5 – Direcções fundamentais da madeira (E31:1954) [17].

Uma árvore é constituída por raiz, caule (ou tronco) e copa. A raiz fornece apoio à árvore através do solo, sendo sua função retirar do mesmo os sais minerais essenciais ao seu desenvolvimento. A copa é o conjunto de ramos, folhas, flores e frutos. Ocupa uma função importantíssima, realizando-se nas folhas, a transformação da água e sais minerais em seiva elaborada, através da fotossíntese. A funcionalidade do tronco é a de sustentar a copa e a de conduzir, por capilaridade, a seiva bruta, desde a raiz até às folhas e das folhas até à camada lenhosa de crescimento.

O tronco da árvore é composto por diversas camadas, mas apenas o borne e o cerne são utilizados como peças estruturais de madeira maciça. A madeira do cerne é de melhor qualidade comparada com a de borne, por ser composta por tecido morto sem actividade orgânica. No borne é onde existe a madeira mais jovem da árvore e onde no momento do corte se podem observar células vivas. Possui ainda cor mais clara e geralmente menor espessura que o cerne. No entanto, em ambas as secções é possível visualizar os anéis anuais de crescimento, que nos dão uma ideia da idade da árvore, isto porque, a cada ano, se dá a adição de uma nova camada concêntrica na sua zona periférica. Numa classificação efectuada do interior para o exterior, o tronco pode ser subdividido em medula, cerne, borne, câmbio, líber (ou entrecasco) e casca (Figura 2.6).

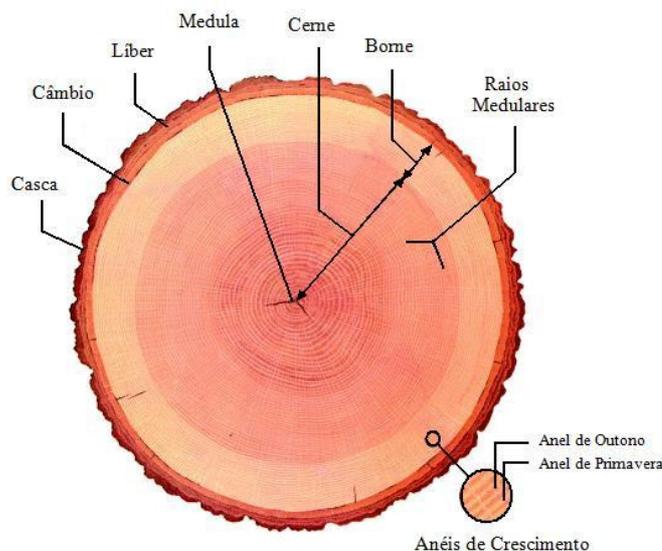


Fig. 2.6 – Constituição do tronco (Adaptado de H. H. & M., 2005) [61].

A Casca é a camada mais externa do tronco e pode ser subdividida em duas subcamadas: o ritidoma (externa) que contém células mortas com função única de proteger o lenho, e o Líber (interna) compreendido por tecido vivo que conduz o alimento produzido nas folhas até às zonas em crescimento.

O Câmbio constitui uma zona de transição muito fina entre a casca e o borne e apresenta na sua composição o tecido merismático, composto por células vivas em permanente transformação, que dão origem aos anéis de crescimento e à casca. Portanto, não só o líber, mas também o câmbio, têm funções fulcrais no desenvolvimento das árvores e, por esse motivo, qualquer degradação ou corte destes elementos poderá provocar a morte da árvore.

Os Anéis de Crescimento representam o historial de desenvolvimento da árvore e apresentam diferentes características consoante o meio ambiente envolvente. Em cada anel de crescimento formado é possível visualizar duas camadas distintas: uma de cor clara que se designa de Anel de Primavera, com células largas e paredes finas, desenvolvida durante a Primavera e o Verão, com função de transporte dos nutrientes; outra de cor mais escura que se denomina de Anel de Outono, com células estreitas e de paredes grossas desenvolvida durante o Verão e o Outono, com função de consolidar o tronco (situação aplicável a climas como o português no qual existem duas a quatro estações bem vincadas).

O Lenho constitui a parte útil do tronco que é utilizada como matéria-prima para a construção, sendo o Borne a camada mais externa e o Cerne a camada mais interior, cujas características já foram referidas.

Os Raios Medulares estendem-se radialmente e de forma perpendicular ao eixo do tronco, desde a medula até à casca. Têm como funções principais o transporte e armazenamento de nutrientes e são também importantes no que respeita à classificação e propriedades da madeira, entre outros.

A Medula é a espinha dorsal do tronco da árvore e em torno da qual se realiza o crescimento inicial dos novos ramos. É composta por tecido macio, por vezes apodrecido, representando um defeito em peças de madeira serrada, por não ter qualquer durabilidade ou resistência mecânica.

O tecido lenhoso é constituído por vários tipos de células que devem assegurar um conjunto diversificado de funções, de acordo com a espécie e localização das mesmas no lenho, possibilitando o normal crescimento e desenvolvimento da árvore. Esta composição e comportamento funcional diferenciado a nível celular repercutem-se nas características anisotrópicas e heterogeneidade da madeira, não só entre espécies mas, também, relativamente à localização relativa do tecido celular no lenho.

A estrutura lenhosa das Resinosas (Figura 2.7) é essencialmente composta por traqueídeos verticais e células de parênquima dispostas em raios medulares (ou raios lenhosos). Os traqueídeos têm uma dupla função: de suporte da árvore e de transporte da seiva bruta, no borne. Por outro lado, o parênquima armazena as substâncias produzidas através da fotossíntese.

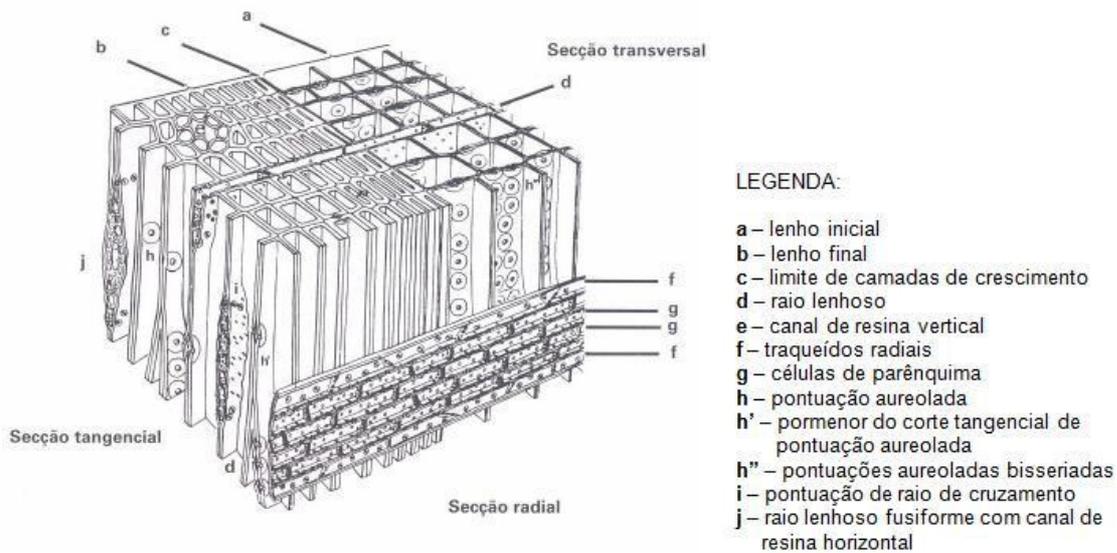


Fig. 2.7 – Estrutura microscópica das resinosas (Adaptado de Carvalho, 1996) [6].

Por sua vez, as Folhosas, apresentam-se estruturalmente mais complexas que as Resinosas (Figura 2.8). Neste grupo, a função dupla dos traqueídeos, nas Gimnospérmicas, é distribuída por dois tipos de células. O transporte da seiva bruta é realizado por um conjunto de células que apresentam dimensões maiores e paredes delgadas relativamente às restantes, designadas por vasos, que percorrem a árvore continuamente desde a raiz até às folhas. O suporte da árvore é assegurado por fibras, que apresentam paredes de maior espessura e menor diâmetro interior do que os traqueídeos das resinosas. Importa ainda referir que, na sua estrutura, se observa um maior número de células de parênquima, ou seja, os raios medulares são muito maiores do que os das Resinosas e, portanto, verificam-se melhores propriedades transversais na madeira de Folhosas.

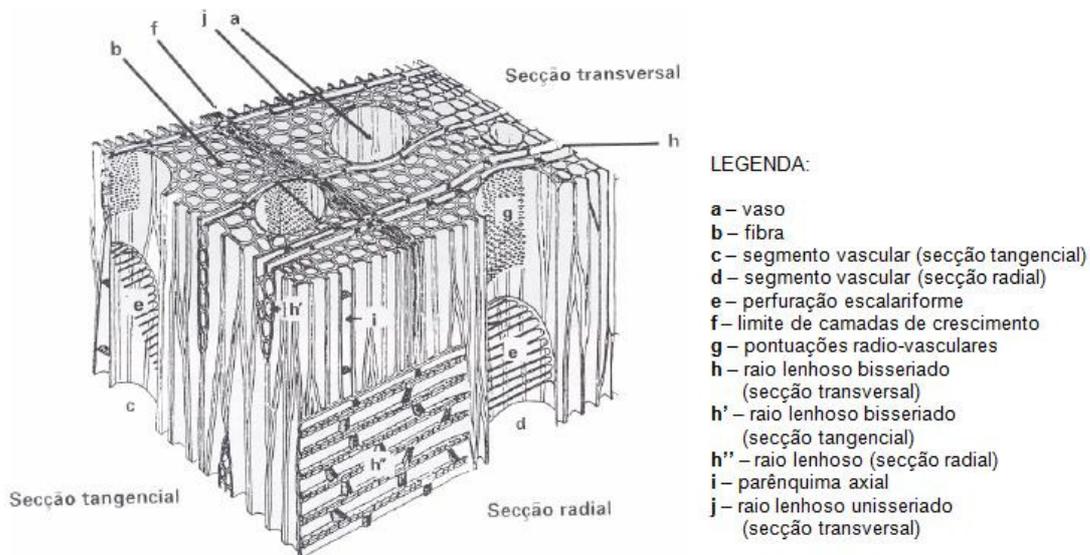


Fig. 2.8 – Estrutura microscópica das folhosas (Adaptado de Carvalho, 1996) [6].

Ao nível da composição química as células da madeira são constituídas por quatro substâncias, cabendo a cada uma delas uma função específica:

- Celulose (40 a 50%) - polímero com elevada resistência mecânica (incluindo a resistência à tracção) e responsável pela higroscopicidade da madeira;
- Hemicelulose (20 a 30%) - garante a função de união entre as fibras de celulose, sem influenciar a sua dureza e/ou características mecânicas;
- Lenhina (20 a 30%) - contribui também para a integridade estrutural das fibras de celulose e para a rigidez e resistência da madeira à compressão e ao corte;
- Outras substâncias (5 a 7%) - tal como as resinas, os taninos, os trementinos, as ceras e outras, tais como, proteínas e pectinas.

### 2.1.3. PROPRIEDADES FÍSICAS MAIS RELEVANTES

Por se tratar de uma matéria-prima orgânica é fundamental estudar a madeira com fins estruturais quanto às propriedades físicas que se demonstrem de maior importância para o sector da construção. Por este motivo, apresenta-se uma análise dos seguintes parâmetros: massa volúmica aparente, teor de água e higroscopicidade, retratilidade e reacção e resistência ao fogo.

#### 2.1.3.1. Massa Volúmica Aparente

No meio madeireiro, a massa volúmica (ou densidade) é normalmente considerada em termos de massa volúmica aparente, isto é, reflectindo um volume aparente onde se despreza o volume compreendido pelos poros da madeira. Deste modo, surge o conceito de massa volúmica aparente, que é uma medida do peso da madeira por unidade de volume, que varia em função do teor de água e que, por sua vez, influencia não só o seu peso mas, também, o seu volume. Tal como o seu nome indica, a massa volúmica aparente ( $\rho_w$ ) de uma peça de madeira, geralmente expressa em  $\text{kg/m}^3$  para um determinado teor de água<sup>2</sup> ( $\omega$ ), é obtida pela divisão entre o seu peso ( $P_w$ ) e o seu volume ( $V_w$ ).

A determinação da massa volúmica pode ser efectuada de acordo com a norma NP 616:1973 [43] que define como massa volúmica de referência de um provete de madeira a calculada para uma peça cujo teor de água é de 12%. Da mesma forma, a recente normalização europeia, incluindo o EC5, considera o mesmo valor de referência (12%).

Tratando-se de uma medida que nos fornece uma ideia da concentração de substância por unidade de volume, está naturalmente relacionada com a resistência mecânica da madeira, embora a massa volúmica não possa ser correlacionada de forma tão directa como se desejaria com este parâmetro devido à heterogeneidade e grande variedade morfológica das espécies.

Observa-se nas Resinosas que as madeiras com anéis anuais de crescimento muito espessos (rápido crescimento) são mais leves do que as de anéis mais estreitos (lento crescimento). Nas Folhosas, pelo contrário, as madeiras de rápido crescimento (anel espesso) são mais pesadas do que as de lento crescimento (anel estreito).

---

<sup>2</sup> Um material diz-se húmido quando contém água no estado gasoso, líquido ou sólido, em simultâneo ou não. A partir da quantidade de água que um material contém, pode definir-se o seu teor de humidade (ou teor de água) através da relação entre massa ou volume de água e a massa e/ou volume do material. (Freitas, 1998) [24].

Por outro lado, realça-se que as madeiras apresentam geralmente um valor de massa volúmica relativamente baixo comparado com a respectiva resistência mecânica e módulo de elasticidade. Este facto concede-lhe grande potencialidade para ser usada como elemento estrutural, ou seja, comparando com outros materiais de iguais características de resistência mecânica, a madeira torna-se competitiva por apresentar um peso mais baixo.

No que se refere ainda à determinação aproximada da massa volúmica, é possível estimar para diferentes valores de teor de água o seu valor correspondente através do ábaco de Kollmann (Figura 2.9). Deve ter-se em atenção o facto dos valores obtidos a partir do ábaco serem aproximados, por este ter sido construído a partir de valores médios do coeficiente de retracção volumétrica e do teor de água do ponto de saturação das fibras (PSF).

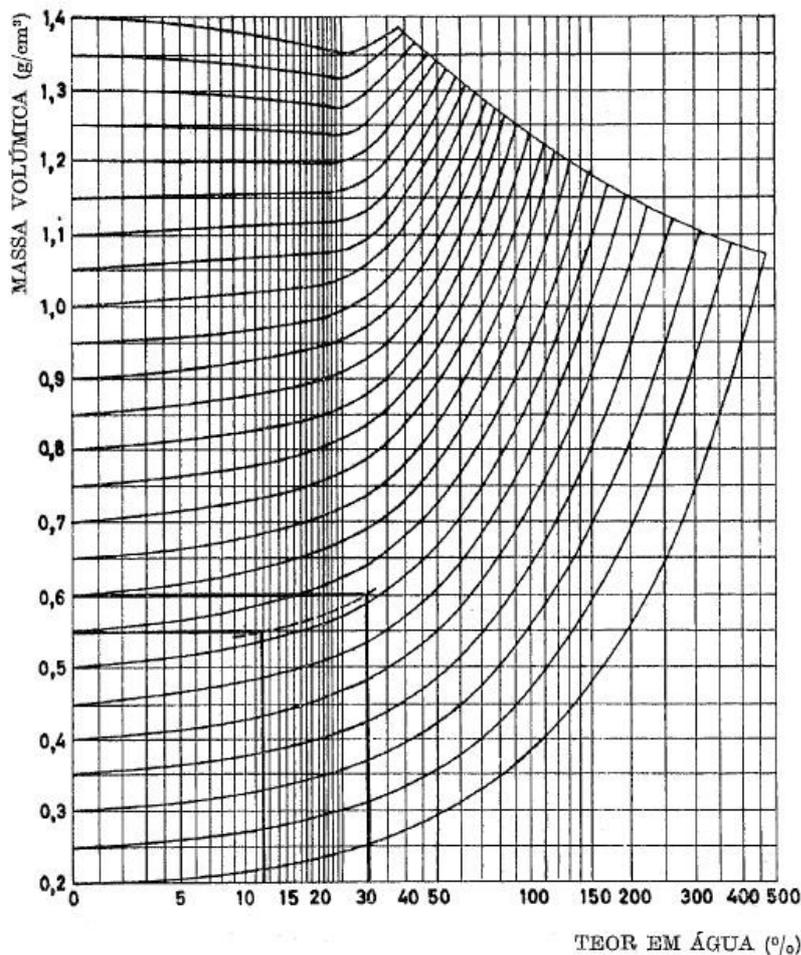


Fig. 2.9 – Ábaco de Kollmann (NP 616:1973) [43].

### 2.1.3.2. Teor de Água e Higroscopicidade

A madeira realiza continuamente trocas de água com o meio ambiente até atingir um ponto de equilíbrio, sendo, por esta razão, considerada um material higroscópico. O comportamento e as propriedades da madeira variam de acordo com o seu teor de água, logo, é relevante possuir um conhecimento mais aprofundado nesta matéria. A água é o elemento fundamental para a sobrevivência do ser vegetal e existe na madeira em três estados: água de constituição, água de embebição (ou impregnação) e água livre.

A água de constituição encontra-se combinada no material lenhoso com os seus principais constituintes e apenas é eliminada com a destruição da estrutura celular lenhosa e não pela sua secagem. Designa-se por madeira anidra aquela que apenas possui no seu seio água de constituição (obtida apenas por secagem artificial).

Intrínseca às paredes das células lenhosas existe a água de embebição, que preenche os vazios celulares e provoca alterações volumétricas visíveis com a sua variação.

Nas árvores, a condução das substâncias nutricionais é realizada pelos traqueídeos e vasos através da água livre, que preenche os vazios capilares. Após o abate, a água livre é eliminada ocorrendo uma diminuição acentuada do teor de água, ou seja, a madeira atinge o seu PSF, cerca de 25 a 30% para a maioria das espécies. À madeira recentemente cortada dá-se o nome de madeira verde.

Posto isto, o teor de água da madeira pode variar em função da higrometria do ambiente envolvente, de acordo com o vapor de água presente e a temperatura do ar, pelo fenómeno de higroscopicidade<sup>3</sup>. As alterações provocadas por esta variável serão tão mais agressivas quanto menor for o teor de água na madeira.

Para fins estruturais, deve procurar-se utilizar madeira que não fique sujeita a alterações volumétricas, que tendencialmente causam comportamentos anómalos diversos. Portanto, os valores do seu teor de água devem ser os que melhor possam ser compatibilizados com a humidade de equilíbrio higroscópico, para as condições em serviço definidas.

Foi estabelecido por consenso o valor de referência para o teor de água de 12%, como medida internacional para a realização de ensaios de determinação das propriedades da madeira. Para valores de humidade relativa tão baixos normalmente é necessário proceder a secagem artificial, em estufa. De referir que, apenas a partir de valores menores a 20% se considera que a madeira está protegida de ataques por parte de agentes bióticos, por ser o valor mínimo no qual normalmente ocorre a propagação e o ataque de fungos e bactérias.

As madeiras podem ser classificadas de acordo com o seu teor de água da seguinte forma (Adaptado de Cachim, 2007, e de Coutinho, 1999) [5 e 9]:

- Madeira saturada: com humidade relativa superior a 70%;
- Madeira verde: apresenta um teor de água geralmente superior a 30%, acima do PSF;
- Madeira semi-seca: teor de água inferior ao PSF, mas superior a 23%;
- Madeira comercialmente seca: quando o teor de água for inferior a 20%;
- Madeira seca: valor entre 18 e 23%;
- Madeira seca ao ar: teor de água compreendido entre 13 e 18%;
- Madeira dessecada: valor que oscila entre 0 e 13% (em geral, por secagem artificial);
- Madeira completamente seca ou anidra: com 0% de humidade.

#### 2.1.3.3. Retractilidade

Conforme foi referido, a madeira é dimensionalmente afectada pela oscilação do seu teor de água entre o estado saturado e o estado anidro. Ao procurar manter o equilíbrio higroscópico com o meio

---

<sup>3</sup> Define-se higroscopicidade como um parâmetro que caracteriza a capacidade de determinado material para fixar água por adsorção e de a restituir ao ambiente em que se encontra, em função das variações de temperatura e de pressão parcial de vapor de água do ambiente que o envolve (Freitas, 1998) [24].

envolvente ocorre na madeira o inchamento (ao absorver humidade) e a retracção (aquando da perda de água).

A retracção da madeira ocorre de forma diferente segundo as três direcções principais (Figura 2.10): axial, radial e tangencial. Estes valores são designados de retracção linear na direcção respectiva.

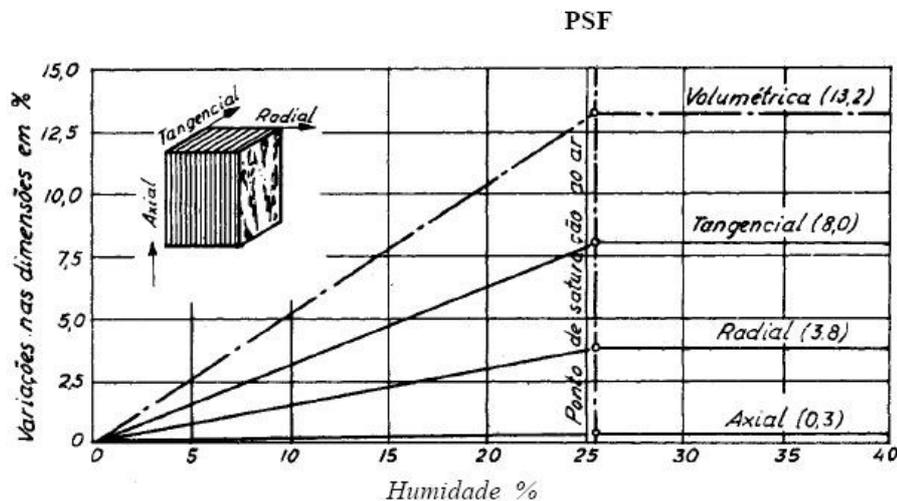


Fig. 2.10 – Curvas de retracção (Coutinho, 1999) [9].

De forma geral, observa-se que a retracção linear axial é quase nula, enquanto a tangencial revela ser cerca do dobro da radial. Já a retracção volumétrica é sensivelmente igual à soma do total das retracções lineares segundo a direcção axial, radial e tangencial. De notar, que estes valores são apenas indicativos, sendo que para cada espécie haverá uma influência semelhante devido a este parâmetro, mas dentro da mesma ordem de grandeza.

Quando uma peça de madeira, que se encontra no estado de PSF, passa ao estado anidro, esta diminui de volume. Este fenómeno designado de retracção volumétrica total (expresso em percentagem) é obtido pela divisão entre a diminuição de volume referida pelo volume da peça de madeira no estado anidro.

Tal como já foi referido, a retracção linear tangencial é pelo menos duas vezes maior que a radial. Por este motivo, as deformações transversais dos elementos de madeira serão também mais ou menos afectadas de acordo com a zona da secção transversal do tronco de onde será retirada a peça final (Figura 2.11).

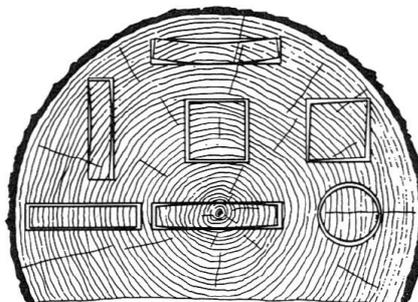


Fig. 2.11 – Alterações da forma da secção transversal por retracção (Coutinho, 1999) [9].

Da mesma forma, os empenos e deformações das peças de madeira serrada surgirão ao longo do elemento em função desses mesmos efeitos repercutidos longitudinalmente (Figura 2.12). Estes comportamentos podem ser classificados de empeno: em arco de face, em arco de canto, em hélice, ou em meia cana.

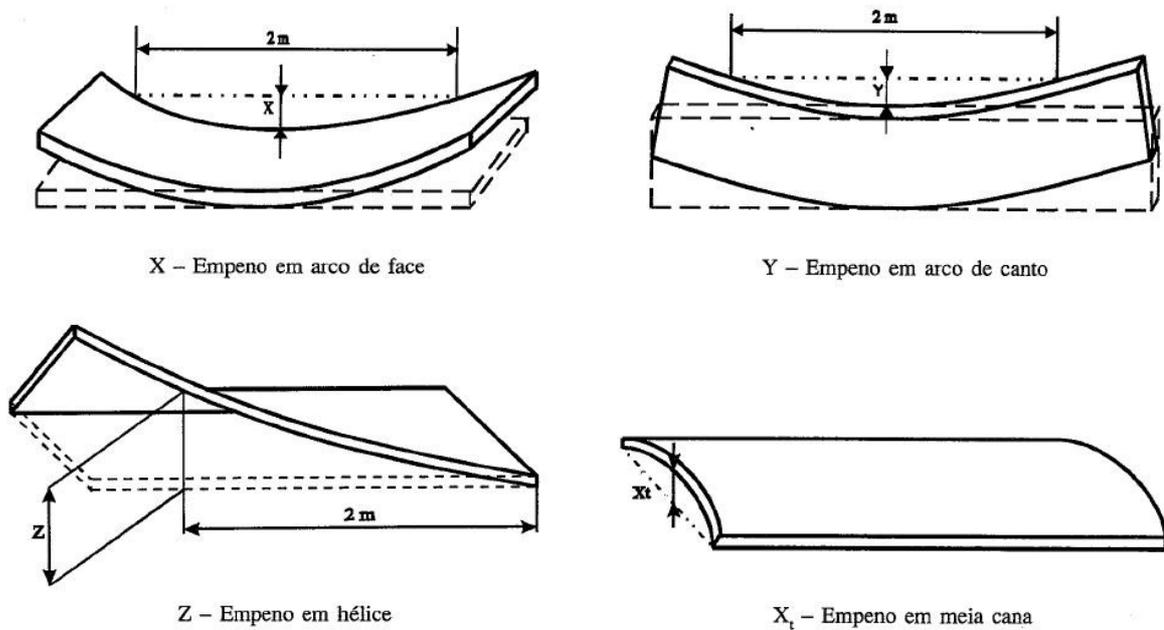


Fig. 2.12 – Empenos das peças de madeira serrada (Cruz, 1997b) [12].

#### 2.1.3.4. Reacção e Resistência ao Fogo

A madeira é um material combustível, sobretudo devido à presença de elementos como o carbono, o oxigénio e o hidrogénio, com origem na celulose e lenhina, constituintes principais da madeira. A combustão pode ser definida como um processo químico de reacção rápida e exotérmica que, de acordo com o triângulo do fogo, se inicia por ignição, dado por uma chama (fonte de calor), entre um combustível, a madeira, e um comburente, essencialmente o oxigénio.

A degradação da madeira, causada pela combustão, provoca uma diminuição progressiva da secção afectada e pode mesmo causar o seu colapso, dependendo do tempo de exposição ao fogo. Apesar de se apresentar como um material cuja reacção ao fogo não é muito boa, a sua resistência a este fenómeno é bastante melhor.

Para madeiras consideradas normais, a combustão, na presença de chama, ocorre a temperaturas superficiais da ordem dos 300°C. Já na sua ausência, o fenómeno ocorre, apenas, para valores superiores a 400°C (Arriaga, 2002) [1]. O processo é endotérmico até suceder a combustão, uma vez que a madeira conduz a energia absorvida para eliminar a água que contém. A reacção passa a ser exotérmica, a partir do momento em que seja perceptível a libertação de gases e o calor.

A madeira, no que respeita à reacção ao fogo, é normalmente classificada como pertencente à classe M3 ou M4, segundo as especificações do LNEC (E326:1979) [18]. Como já foi referido, a sua resistência ao fogo revela um melhor comportamento, embora este facto não seja do conhecimento geral no sector da construção. Apesar de nas suas uniões a madeira revelar pontos de debilidade,

quando exposta ao fogo, consegue ter melhor comportamento a este nível do que outras estruturas semelhantes em betão ou aço. Mesmo em incêndios a altas temperaturas (1000°C), a madeira conserva boa resistência mecânica, devido ao efeito isolante que as camadas externas carbonizadas lhe conferem. De facto, esta camada carbonizada consegue ser cerca de seis vezes mais isolante que a própria madeira, atrasando a sua degradação e fazendo com que o seu núcleo permaneça protegido.

Neste contexto, um incêndio não afecta a madeira através da redução das suas propriedades mecânicas por acção do calor, mas sim pela perda de secção do elemento estrutural. Quanto maior é o valor da massa volúmica da madeira menor é a reacção ao fogo, dificultando e diminuindo a velocidade da combustão. O teor de água atrasa a evolução deste processo embora não seja relevante para estruturas em serviço, porque normalmente o seu valor é baixo nesses casos.

No caso da estrutura de madeira sobreviver a um incêndio, deverá ter-se especial atenção ao seu estado não só devido ao acidente em si, mas pelo facto do material lenhoso estar sujeito a uma maior probabilidade de sofrer ataques bióticos. Esta situação agrava-se sobretudo se for utilizada água na extinção do fogo em grandes quantidades, no caso de haver dificuldade em parar o processo.

## **2.2. ESTABILIDADE DE ESTRUTURAS EM MADEIRA**

### **2.2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS**

A análise da estabilidade de estruturas em madeira é um processo em tudo análogo à verificação da realizada para estruturas de betão armado ou para estruturas metálicas.

Os principais obstáculos na realização deste estudo baseiam-se na necessidade de obter valores de cálculo para os materiais e em escolher os modelos de cálculo que melhor se adequam às obras a executar e de acordo com as soluções de ligações adoptadas. Outra problemática prende-se com o facto de a madeira possuir características próprias por ser um material orgânico e de estar sujeita, no seu tempo médio de vida, a formas de degradação diferentes dos materiais de origem mineral. Ou seja, o projecto de estruturas de madeira considerar a possibilidade da madeira ser um material que pode sofrer degradação por acção de agentes bióticos e, por este motivo, surgem conceitos relevantes como as classes de risco e de durabilidade do próprio material.

Nos próximos pontos deste trabalho apresentam-se, de forma muito genérica, os passos fundamentais a seguir na verificação da estabilidade de estruturas em madeira. Resumidamente, existem alguns aspectos essenciais que deverão ser dominados para se poder realizar em segurança projectos de estruturas em madeira, seja ela nova ou antiga: conhecer e saber utilizar um código de cálculo como o EC5, estar ciente dos perigos associados à utilização incorrecta da madeira, saber estimar com rigor valores de cálculo atribuídos aos materiais e garantir que os materiais e soluções de ligações utilizados em obra respeitam o especificado no projecto. Este último ponto merece um destaque especial, devido à grande variabilidade de propriedades e de comportamentos que o material madeira apresenta, quando comparado com outros materiais estruturais como o aço ou o betão armado.

### **2.2.2. METODOLOGIA DE CÁLCULO**

Na Figura 2.13 apresenta-se de forma simples a metodologia de cálculo normalmente praticada na execução de projectos de estruturas, que poderá ajudar a compreender a forma como se efectua o cálculo das estruturas em madeira.

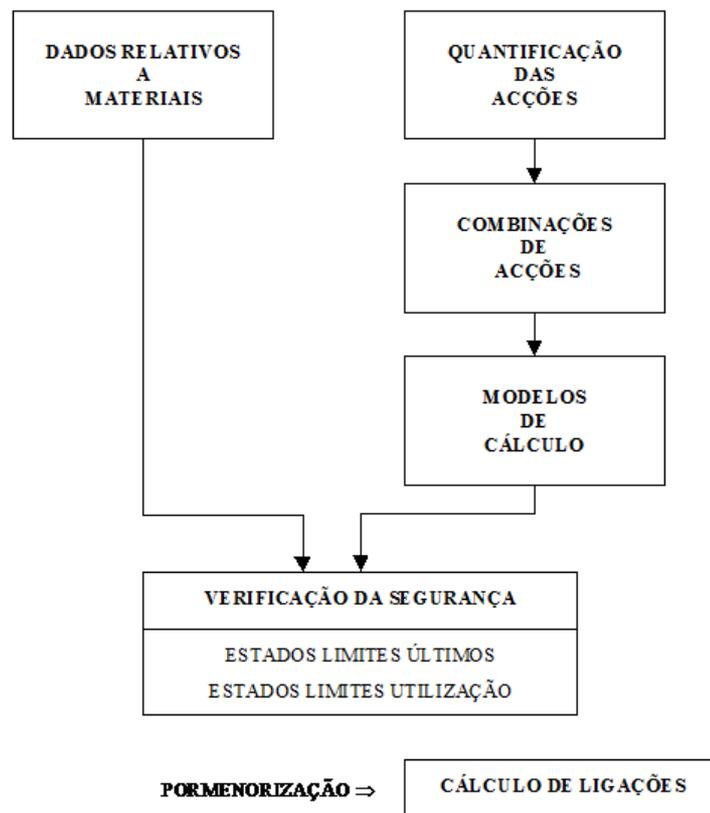


Fig. 2.13 – Fluxograma explicativo do modo de execução de projectos de estruturas (Faria, 2002b) [20].

Como pudemos observar, a concretização de projectos de estruturas em madeira é uma pequena parte desta metodologia geral, mas implica ter os seguintes conhecimentos fundamentais:

- Informação e disponibilidade dos materiais;
- Dados relativos a acções;
- Modelos de cálculo dos esforços actuantes e das deformações e vibrações provocadas pelas acções actuantes;
- Formas de avaliar a capacidade resistente das estruturas de acordo com a resistência individual dos elementos de madeira, das suas ligações e da sua interligação com as fundações, usando as metodologias de verificação da segurança definidas no EC5;
- Informação técnica e escolha de soluções que estejam disponíveis no mercado (pré-fabricação e sistemas de ligação), que possam ser executadas de modo a que as criações contidas nos projectos dos técnicos possam ser concretizadas.

O cálculo de estruturas em madeira, concretizado num projecto estrutural, não é um processo estático. Este deve decorrer de relacionamentos pluridisciplinares entre as várias áreas e essencialmente do conhecimento histórico e actual do imóvel a intervir, sem menosprezar o estudo da aplicação mais adequada para a solução proposta no projecto final.

### 2.2.3. ACÇÕES E COMBINAÇÕES DE ACÇÕES

O modo como são obtidas as acções, combinações de acções e todos os elementos necessários à quantificação dos esforços actuantes é, em tudo, análogo a outro qualquer projecto de estruturas.

O EC5 demonstra como se pode verificar a segurança e define como usar os Eurocódigos de acções para executar essa tarefa. Deve, assim, ser usado o Eurocódigo 1 (EC1, Parte 1) para quantificar as acções.

As acções a considerar, deverão ser, tanto as de aplicação directa, como as cargas permanentes, sobrecargas, vento, neve e sismos, assim como as acções indirectas (assentamentos de apoio e acções induzidas por variação do teor de água das peças).

Aparte dos materiais utilizados nas estruturas, a verificação do desempenho da estrutura deve ser pensada de forma global e ao longo de toda a sua vida, para que sejam avaliadas correctamente todas as acções que possam surgir. Do mesmo modo, deve ser previsto o comportamento estático ou dinâmico das diferentes acções.

O cálculo de estruturas em madeira pelo EC5 recorre à verificação aos estados limites últimos de segurança e de utilização, sem quantificar importantes características específicas da madeira. Os efeitos da duração das acções e o teor de água são excepções consideradas em serviço e devem ser cuidadosamente ponderados, por influenciarem os valores das propriedades dos materiais. O EC5 quantifica a influência destes factores através de coeficientes apropriados ( $k_{mod}$  e  $k_{def}$ , ver 2.4.).

As partes preferenciais do EC1 a serem utilizadas na determinação das acções a considerar são as seguintes:

- Parte 1: Pesos volúmicos, pesos próprios e sobrecarga;
- Parte 3: Acções da neve;
- Parte 4: Acções do vento;
- Parte 5: Acções térmicas;
- Parte 6: Acções durante a execução;
- Parte 7: Acções de acidente devido ao impacto ou explosões.

### 2.2.4. CLASSES DE SERVIÇO E DURAÇÃO DAS ACÇÕES

As estruturas de madeira devem ser calculadas de modo concordante com o ambiente em que se inserem, sendo que esse meio pode influenciar as dimensões das peças, nomeadamente devido ao teor de água, como já foi referido.

Este aspecto é contabilizado no EC5, através do estabelecimento de classes de serviço em três níveis que, por sua vez, podem ser associados aproximadamente aos respectivos três níveis das classes de risco definidas pela norma NP EN 335-1:1994 [47]. Estas classes procuram enquadrar o problema da durabilidade da madeira face às condições do meio envolvente em que se encontra e são apresentadas no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Classes de risco (Adaptado da NP EN 335-1:1994) [47].

Classe de risco	Situações gerais de serviço	Exposição à humidade	Teor de água na madeira
1	Ambiente interior protegido	Nenhuma	$\leq 20\%$
2	Ambiente interior não protegido ou exterior, não sujeito à acção directa da água das chuvas e em contacto muito esporádico com água na fase líquida	Ocasional	Ocasionalmente $>20\%$
3	Ambiente exterior em contacto frequente com água das chuvas, muitas vezes em períodos longos	Frequente	Frequentemente $>20\%$
4	Em contacto permanente com água doce no estado líquido	Permanente	Permanentemente $>20\%$
5	Permanentemente imerso em água salgada	Permanente	Permanentemente $>20\%$

As classes de risco 1 a 3 correspondem sensivelmente às classes de serviço respectivas, contidas no EC5. As classes de risco 4 ou 5 não são abrangidas pelo EC5. As classes de serviço encontram-se esquematizadas no Quadro 2.2 e dependem da temperatura (T) e da humidade relativa ambiente (HR).

Quadro 2.2 – Classes de serviço (Adaptado de EC5) [38].

Classe de serviço	Condições ambientais	Exemplo
1	$T \approx 20^{\circ}\text{C}$ HR > 65% em poucas semanas por ano	Estruturas interiores em geral
2	$T \approx 20^{\circ}\text{C}$ HR > 85% em poucas semanas por ano	Estruturas exteriores cobertas
3	HR > HR <sub>Classe 2</sub>	Estruturas em ambientes muito húmidos (exteriores ou interiores)

Relativamente à duração das acções, o EC5 estabelece cinco categorias associadas à duração acumulada dos valores das acções, que estão resumidas no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Classes de duração das acções (Adaptado de EC5) [38].

Classe de duração das acções	Ordem de grandeza do valor acumulado da duração da acção característica	Exemplo
Permanente	$> 10$ anos	Peso próprio
Longa duração	6 meses a 10 anos	Sobrecargas de carácter permanente (Mobiliário, produtos armazenados)
Média duração	1 semana a 6 meses	Sobrecargas correntes (Pessoas), neve em certos casos
Curta duração	$< 1$ semana	Vento, neve em certos casos
Instantânea		Vento, sismo, acções acidentais

Em Portugal, a neve será geralmente uma acção sempre de curta duração, e as sobrecargas serão consideradas como acções de média duração.

Os coeficientes de segurança a utilizar no cálculo de verificação da estabilidade das estruturas de madeira são definidos em função de dois parâmetros, que estão dependentes das classes de serviço e da duração da acção ( $k_{mod}$  e  $k_{def}$ ), assim como dos coeficientes de segurança relativos aos materiais utilizados ( $\gamma_M$ ).

#### 2.2.5. VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA

Actualmente, a regulamentação mais indicada para a verificação de segurança de estruturas em madeira está contida no EC5 [38]. As regras definidas por esta norma estão divididas em três partes que se apresentam seguidamente:

- EN 1995-1-1:2004 – *Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings*;
- EN 1995-1-2:2004 – *Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-2: General – Structural fire design*;
- EN 1995-2:2004 – *Eurocode 5: Design of timber structures – Part 2: Bridges*.

A primeira parte do EC5 evidencia alguns modelos de cálculo e diversos formulários, concretamente aplicados à análise da capacidade resistente de peças estruturais em madeira, quer para a verificação aos estados limites últimos, quer para os estados limites de utilização (ou serviço). Esta secção apresenta ainda um formulário muito completo e regras geométricas de dimensionamento para os vários tipos de elementos de ligação aplicados a estruturas em madeira.

Na segunda parte são definidas as regras gerais de verificação da madeira em caso de incêndio, sendo abordadas diversas metodologias simplificadas de aplicação fácil para os diversos elementos presentes neste tipo de estruturas, tendo eles protecção adicional ao fogo ou não.

Por fim, na terceira parte, mostra-se um conjunto de regras simples aplicadas especificamente ao caso das pontes correntes.

### 2.3. APRESENTAÇÃO GERAL DO EUROCÓDIGO 5: PARTE 1-1

O projecto de estruturas de madeira em Portugal tem vindo a ser limitado pela dificuldade de acesso a versões traduzidas do EC5, que ajudem os profissionais a desempenhar o seu trabalho de forma mais apoiada e sem dificuldades de interpretação ou tradução de terminologias. Embora a versão original do EC5 (em inglês) tenha saído em Novembro de 2004, as versões traduzidas para português, não actualizadas, são as seguintes: NP EN 1995-1-1:1998, *Eurocódigo 5: Projecto de estruturas de madeira - Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios*; e NP EN 1995-1-2:2000, *Eurocódigo 5: Projecto de estruturas de madeira - Parte 1-2: Regras gerais: verificação da resistência ao fogo*.

Torna-se essencial a tradução e actualização das três partes do EC5 que se tornariam num grande suporte para os projectistas nacionais sem experiência nesta área, que desta forma poderiam começar a utilizar esta norma, reduzindo os erros da má interpretação da utilização dos originais nas línguas francesa, inglesa ou alemã.

O EC5, parte 1-1 inclui os seguintes capítulos:

- 1: Generalidades
- 2: Bases de Projecto
- 3: Propriedades dos materiais
- 4: Durabilidade
- 5: Bases para análise estrutural
- 6: Estados limite últimos
- 7: Estados limite de utilização
- 8: Ligações com ligadores metálicos
- 9: Componentes e sistemas estruturais
- 10: Disposições construtivas e controlo

Na parte inicial do documento não só é apresentada uma vasta lista relativa às normas europeias de referência, aplicadas ao cálculo de estruturas em madeira, como também uma completa listagem de toda a simbologia utilizada.

Para se efectuar a verificação da estabilidade das estruturas, devem ser seguidas as noções fundamentais apresentadas nas cinco primeiras secções. Os restantes capítulos, contêm orientações para o cálculo de elementos e sistemas estruturais, assim como para esforços simples ou combinados, realçando-se a parte respeitante a ligações. Aborda-se também a temática relativa à verificação aos estados limites últimos e de utilização.

## 2.4. METODOLOGIA DE VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE

### 2.4.1. REQUISITOS BÁSICOS DE PROJECTO

A verificação da estabilidade de projectos de estruturas de madeira rege-se pelos princípios gerais determinados na NP EN 1990:2002 [45], ou seja, o Eurocódigo 0 (EC0), que estabelece as regras base de projecto de estruturas. Na quantificação dos valores das acções recorre às normas da série NP EN 1991:2002 [46], EC1 e utiliza os métodos desenvolvidos nas várias partes do EC5 para examinar a capacidade resistente, as condições de utilização e a durabilidade. Os valores característicos de cada material estão definidos nas normas europeias aplicáveis, enumeradas no EC5.

Não menos importantes, de notar os aspectos relativos às durações das acções, referidas no ponto 2.2.4., bem como a relevância do valor do teor de água dos elementos de madeira e o cálculo, de acordo com o método dos estados limites.

O cálculo deve ser efectuado aos estados limites em conjunto com o método dos coeficientes parciais, sendo ambos os processos desenvolvidos mais a frente. Consoante o caso, os modelos de cálculo para os estados limites devem ter em conta os seguintes aspectos:

- Diferentes propriedades dos materiais (por exemplo: resistência e rigidez);
- Diversos comportamentos dos materiais ao longo do tempo (duração das acções e fluência);
- Variadas condições climáticas (temperatura, variações de humidade);
- Situações de cálculo distintas (fases de construção, alterações das condições de apoio).

De um modo geral, a verificação de estabilidade pode ser realizada recorrendo a valores médios na determinação de parâmetros de rigidez ( $E_{mean}$ ,  $G_{mean}$ ,  $K_{ser}$ ). Contudo, os elementos devem

apresentar as mesmas propriedades em função do tempo e devem efectuar-se análises lineares elásticas de primeira ordem.

O estudo das estruturas, relativamente aos estados limites, deve abordar: as deformações ocorridas nas peças estruturais; os efeitos consequentes de vibrações incómodas provenientes do uso corrente ou do funcionamento de equipamentos existentes; as limitações impostas ao deslizamento das ligações entre elementos.

O comportamento de uma estrutura, relativamente às deformações resultantes dos efeitos das acções a que está sujeita e de acordo com a variação do seu teor de água, devem ser controlados e manter-se dentro dos limites adequados, de forma a não se ultrapassarem as tolerâncias contabilizadas para compatibilizar os materiais constituintes. Caso contrário, poderão decorrer, destas deformações, danos em elementos não estruturais, ao nível de revestimentos, dos tectos, dos pavimentos, das divisórias e de acabamentos, alterando-se o seu aspecto visual e o nível de exigências funcionais.

De acordo com o EC5, a deformação instantânea ( $u_{inst}$ ) deve ser calculada para a combinação característica de acções (EC0), através do uso de valores médios adequados dos módulos de elasticidade, de distorção, e de deslizamento. A deformação final ( $u_{fin}$ ) deverá ser obtida para a combinação de acções quase-permanente (EC0).

Para estruturas compostas por elementos, componentes e ligações com a mesma fluência, na hipótese de existir uma relação linear entre as acções e as deformações correspondentes, a deformação final ( $u_{fin}$ ) poderá ser obtida através das equações seguintes (Equações 2.1 a 2.4):

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q_1} + \sum_{i>1} u_{fin,Q_i} \quad (2.1)$$

em que, para uma acção permanente,  $G$  :

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} (1 + k_{def}) \quad (2.2)$$

para a acção da variável principal de base da combinação,  $Q_1$  :

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) \quad (2.3)$$

para a acção das variáveis secundárias,  $Q_i$  ( $i > 1$ ):

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}) \quad (2.4)$$

sendo,

$u_{inst,G}$ ,  $u_{inst,Q,1}$ ,  $u_{inst,Q,i}$  - Deformações instantâneas para as acções respectivas:  $G$ ,  $Q_1$  e  $Q_i$ ;

$\psi_{2,1}$ ,  $\psi_{2,i}$  - Coeficientes para o valor quase-permanente das acções variáveis;

$\psi_{0,i}$  - Coeficientes para o valor da combinação de acções variáveis;

$k_{def}$  - Factor para a avaliação da deformação devido à fluência de acordo com a classe de serviço do material (ver 2.4.3.3).

No caso das estruturas serem compostas por peças com distintos comportamentos e propriedades ao longo do tempo, os valores dos parâmetros de rigidez a adoptar são os valores finais, calculados através das equações apresentadas em 2.4.2.

Os valores de cálculo dos dados geométricos relacionados com as secções transversais dos elementos e dos sistemas estruturais poderão ser considerados como valores nominais e obtidos através das normas europeias harmonizadas (hEN) dos produtos ou dos desenhos de execução.

#### 2.4.2. ESTADOS LIMITES

Uma estrutura ou parte dela atinge um estado limite quando, de modo definitivo ou parcial, se torna inoperacional ou quando deixa de satisfazer as condições previstas para a sua utilização.

Depreende-se naturalmente que os requisitos esperados de uma edificação sejam que a mesma reúna condições apropriadas ao nível da segurança, funcionalidade e durabilidade, cumprindo as necessidades para a qual foi concebida.

Para efectuarmos esta análise será necessário recorrer ao cálculo da resistência mecânica e aptidão ao uso, devendo ter-se ainda em conta que a duração das acções e o teor de água afectam as características de resistência e de rigidez dos elementos de madeira.

Posto isto, quando uma estrutura revela um desempenho que não corresponde eficazmente às três condições enunciadas, considera-se que esta terá atingido um estado limite. Assim, uma construção pode atingir um estado limite do tipo funcional ou estrutural, ou seja, respectivamente:

- Estado limite de utilização (ou de serviço);
- Estado limite último (ou de colapso).

##### 2.4.2.1. Estados Limites de Utilização

Os estados limites de utilização são aqueles que correspondem à impossibilidade do uso normal de uma estrutura, estando relacionados com a durabilidade, a aparência, o conforto do utilizador e o bom funcionamento da mesma, quer ao nível dos utilizadores, quer ao nível da existência de máquinas e equipamentos.

Para verificação da segurança quanto aos estados limites de utilização, no caso da estrutura ser constituída por elementos ou componentes com diferentes propriedades no tempo, os valores médios finais do módulo de elasticidade ( $E_{mean,fin}$ ), do módulo de distorção ( $G_{mean,fin}$ ), e do módulo de deslizamento ( $K_{ser,fin}$ ), utilizados no cálculo da deformação final, deverão ser obtidos com as seguintes equações (Equações 2.5 a 2.7):

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1 + k_{def})} \quad (2.5)$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1 + k_{def})} \quad (2.6)$$

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1 + k_{def})} \quad (2.7)$$

em que,

$E_{mean}$  - Módulo de elasticidade médio;

$G_{mean}$  - Módulo de distorção médio;

$K_{ser}$  - Módulo de deslizamento [N/m], aplicado ao deslizamento de uma ligação [m] relativamente a um esforço aplicado [N].

O valor do módulo de deslizamento apenas se aplica directamente à avaliação do estado limite de utilização.

Apresentam-se, na Figura 2.14, as várias componentes da deformação de uma viga resultante dos esforços das combinações de acções actuantes.

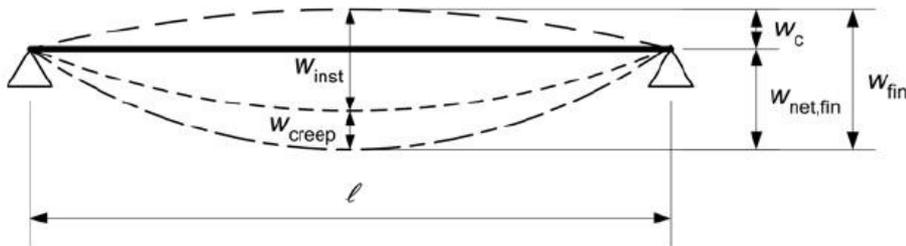


Fig. 2.14 – Componentes da deformação de uma viga (EC5) [38].

A deformação, obtida através do desvio relativamente a uma linha recta imaginária entre os dois apoios da viga, é dada pela deformada final (Equação 2.8):

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c \quad (2.8)$$

em que,

$w_{net,fin}$  - Deformada final;

$w_{inst}$  - Deformada instantânea;

$w_{creep}$  - Deformada devido à fluência;

$w_c$  - Pré-deformada (se existir);

$w_{fin}$  - Deformada final total.

Como referência, apresentam-se no Quadro 2.4, valores limite para as deformadas aplicadas a vigas, ou seja, flechas máximas admissíveis de acordo com o EC5, parte 1-1.

Quadro 2.4 – Valores limite de deformadas em vigas (Adaptado de EC5) [38].

	$W_{inst}$	$W_{net,fin}$	$W_{fin}$
Viga simplesmente apoiada	$\ell/300$ a $\ell/500$	$\ell/250$ a $\ell/350$	$\ell/150$ a $\ell/300$
Viga encastrada	$\ell/150$ a $\ell/250$	$\ell/125$ a $\ell/175$	$\ell/75$ a $\ell/150$

#### 2.4.2.2. Estados Limites Últimos

Os estados limites últimos estão relacionados com um colapso, ou qualquer outro tipo de falha estrutural, que cause a paralisação da construção.

Na realização da verificação de segurança em relação aos estados limites últimos, nas situações em que os esforços nos elementos são afectados pela distribuição da rigidez na estrutura, os valores médios finais do módulo de elasticidade, do módulo de distorção e do módulo de deslizamento, deverão ser calculados através das seguintes equações (Equações 2.9 a 2.11):

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1 + \psi_2 k_{def})} \quad (2.9)$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1 + \psi_2 k_{def})} \quad (2.10)$$

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1 + \psi_2 k_{def})} \quad (2.11)$$

em que,

$\psi_2$  - Coeficiente correspondente à acção da combinação quase-permanente.

Na verificação de uma ligação ao estado limite último de resistência, o valor do módulo de deslizamento a adoptar é dado pelo seu valor instantâneo ( $K_u$ ), que corresponde a 2/3 do módulo de deslizamento ( $K_{ser}$ ).

#### 2.4.3. VERIFICAÇÃO ATRAVÉS DO MÉTODO DOS COEFICIENTES PARCIAIS

##### 2.4.3.1. Valor de cálculo de uma propriedade de um material

O valor de cálculo de uma propriedade de resistência de um material ( $X_d$ ), é um valor correspondente a que se considera seguro o cálculo para estados limites da estrutura. Este valor é obtido a partir da divisão entre um valor característico e um coeficiente parcial de segurança, que por sua vez é corrigido em função da duração da carga e do teor em água (Equação 2.12):

$$X_d = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (2.12)$$

em que,

$X_d$  - Valor de cálculo de uma propriedade de resistência;

$X_k$  - Valor característico de uma propriedade de resistência;

$\gamma_M$  - Coeficiente parcial de segurança para uma propriedade de um material;

$k_{\text{mod}}$  - Factor de modificação da resistência, que tem em conta a duração da carga e o teor de água do material (ver 2.4.3.3).

No Quadro 2.5 apresentam-se os valores recomendados dos coeficientes parciais de segurança ( $\gamma_M$ ).

Quadro 2.5 – Coeficientes parciais de segurança (Adaptado de EC5) [38].

Tipo de combinações		$\gamma_M$
Fundamentais	Madeira maciça	1,3
	Ligações	1,3
	Ligadores em placas metálicas perfuradas	1,3
Acidentais		1,0

O cálculo de ligações é feito, numa primeira fase, utilizando valores característicos das propriedades dos materiais, sendo os coeficientes de segurança apenas aplicados, no final, aos resultados obtidos.

O valor de cálculo de uma propriedade de rigidez de um elemento, deve ser obtido utilizando as seguintes equações (Equações 2.13 e 2.14):

$$E_d = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M} \quad (2.13)$$

$$G_d = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M} \quad (2.14)$$

em que,

$E_d$  - Valor de cálculo do módulo de elasticidade;

$G_d$  - Valor de cálculo do módulo de distorção.

## 2.4.3.2. Valor de cálculo das resistências

O valor de cálculo de uma resistência ( $R_d$ ), ou capacidade resistente é dado pela Equação 2.15:

$$R_d = k_{\text{mod}} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (2.15)$$

em que,

$R_k$  - Valor de cálculo da capacidade resistente.

2.4.3.3. Valores de  $k_{\text{mod}}$  e  $k_{\text{def}}$ 

No Quadro 2.6 e Quadro 2.7 apresentam-se, respectivamente, os valores dos factores de  $k_{\text{mod}}$  e  $k_{\text{def}}$ , para madeira maciça. Como informação adicional indica-se ainda a norma europeia que refere a classificação de madeiras estruturais em classes de qualidade.

Quadro 2.6 – Valores de  $k_{\text{mod}}$  (Adaptado de EC5) [38].

Material	Norma	Classe de serviço	Classe de duração das acções				
			Acção permanente	Acção de longa duração	Acção de média duração	Acção de curta duração	Acção instantânea
Madeira maciça	EN 14081-1 (2005)	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Quadro 2.7 – Valores de  $k_{\text{def}}$  (Adaptado de EC5) [38].

Material	Norma	Classe de serviço		
		1	2	3
Madeira maciça	EN 14081-1 (2005)	0,60	0,80	2,00



# 3

## VALORES DE CÁLCULO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

### 3.1. ESPECIFICIDADES DAS MADEIRAS

#### 3.1.1. DEFEITOS DA MADEIRA

A madeira é considerada normal quando as suas propriedades se aproximam da perfeição, permitindo que esta atinja a máxima performance no decorrer do seu tempo útil de vida. Isto é, quando não se detectam irregularidades ou desvios que restringem a sua utilização ou aplicação final.

Consideram-se defeitos da madeira todo e qualquer tipo de imperfeições, descontinuidades ou anomalias estruturais, modificações químicas ou de coloração, transformações corporais das peças, desde o momento do corte do tronco até à sua aplicação final, sempre que qualquer um destes aspectos comprometa total ou parcialmente a sua utilização para um determinado fim ou reduza o seu valor intrínseco.

Nos próximos pontos deste trabalho será feita uma abordagem sucinta dos defeitos mais comuns das madeiras com influência no seu comportamento estrutural nomeadamente, os nós, o descaio, a inclinação do fio, as fendas, os empenos e os ataques bióticos. No entanto, existem muitos outros defeitos observáveis em peças de madeira, tais como, as bolsas de resina, os lenhos de reacção, a medula, a casca inclusa e o apodrecimento, que aqui não são objecto de descrição detalhada, uma vez que a sua análise não é relevante para este trabalho. De referir, ainda, que os nós e a inclinação do fio são defeitos de crescimento e as fendas, o descaio e os empenos são irregularidades, devidas ao abate, à secagem e à exploração.

##### 3.1.1.1. Nós

Os nós são geralmente considerados como os defeitos mais condicionantes para a resistência global das peças de madeira e, por isso, são um dos factores negativos que influenciam a sua classificação e inclusive o seu valor comercial. Estas anomalias correspondem às ligações orgânicas dos ramos ao tronco, apresentando no interior do mesmo forma cónica, cujo vértice assenta na medula. Afectam a aparência, podem ter várias dimensões, têm tendência a rachar e dificultam a trabalhabilidade da madeira. Os nós provocam desvios locais nas fibras que o envolvem, fazendo com que a peça de madeira se comporte de forma instável quando actuada por uma carga de compressão paralela às fibras, por exemplo. Normalmente, a presença destes defeitos não altera a sua resistência à

compressão, mas afecta, sobretudo, a resistência à tracção e pode, ainda, afectar o seu comportamento quando as peças são sujeitas à flexão.

De acordo com a NP 180:1962 [41], os nós podem ser classificados segundo diversos aspectos: a forma, a aderência, o estado, a localização nas peças e o agrupamento.

Podem apresentar forma circular ou redonda, elíptica ou oval, e deitada ou comprida (Figura 3.1).

Quanto à aderência diz-se que é *firme* (ou aderente ou fixe ou vivo), quando as fibras o envolvem continuamente, ou *soltadiço* (ou solto ou morto ou cadente ou rajo), se facilmente é separado do tecido lenhoso, sendo normalmente endurecido ou impregnado de resina.

O seu estado pode ser *são*, no caso de não apresentar sinais de ataques bióticos, ser *podre*, se atacado por fungos geradores de podridões, ser *fendido* (rachado), se apresentar fendas e ser *lascado*, se estiver incompleto devido ao trabalho da peça.

Consoante a localização na peça dizem-se *de aresta* (canto) ou *de face*, respectivamente, se estão situados numa aresta ou numa face do elemento, *inclusos*, se não aparecem à superfície da peça e *repassados*, se atravessam o corpo do elemento aparecendo em superfícies de corte distintas.

Relativamente ao agrupamento, denominam-se *de agrupados* quando dois ou mais nós estão suficientemente próximos para que as fibras envolventes estejam inflectidas em torno do grupo por eles formado, caso contrário designam-se *de isolados*.



Fig. 3.1 – Presença de nós de diversas formas em vigas de pavimentos.

A redução da resistência originada por um nó depende fundamentalmente da relação entre a área da secção ocupada pelo nó e a área total da secção (Cachim, 2007) [5].

#### 3.1.1.2. Descaio

O descaio é um defeito com origem no tratamento laboral da madeira representado pela falta de madeira em uma ou mais arestas das vigas, afectando-as total ou parcialmente ao longo do seu desenvolvimento (ver Figura 3.14). Relativamente às consequências para o comportamento mecânico da madeira, o descaio, consiste numa redução da secção útil da viga nesse local e pode ainda complicar a ligação de outras peças nessa zona.

#### 3.1.1.3. Inclinação do Fio

O fio da madeira é dado pela orientação e disposição relativa das fibras (E31:1954) [17]. Portanto, a inclinação do fio é dada por um desvio mais ou menos acentuado relativamente ao eixo longitudinal da peça de madeira. Este defeito pode ter origem num processo de corte deficiente, ou ser mesmo característico da natureza da árvore de onde a peça foi retirada. Trata-se de uma irregularidade que além de tornar o elemento mais difícil de ser aproveitado, pode provocar graves consequências ao

nível da resistência mecânica da madeira, ou empenos e fendas caso ocorram variações de humidade, devido às elevadas tensões internas que se instalam nas fibras da madeira com esta especificidade.

#### 3.1.1.4. Fendas

O aparecimento de fendas (Figura 3.2) é, em grande parte, a consequência das elevadas tensões instaladas pela contracção diferencial da madeira entre as zonas periféricas e interiores do lenho, o que induz esforços de tracção transversal que tendem a romper a madeira segundo planos radiais. Podem ainda ter origem na presença de defeitos, ou serem devidos a secagem inadequada. Levam à diminuição da secção útil resistente da peça e podem ser graves no caso de serem repassadas, isto é, se atravessarem na globalidade a espessura da peça entre faces opostas dos elementos de madeira, bem como se estiverem localizadas em sítios de união entre peças ou em elementos sujeitos a compressão axial. Assim, verifica-se que as fendas não são necessariamente o resultado de uma patologia de índole estrutural, sendo que, dentro de determinados limites dimensionais estabelecidos nas normas de classificação visual, têm reduzida influência na resistência do componente (Botelho, 2006) [4].



Fig. 3.2 – Presença de fendas em vigas de pavimentos.

#### 3.1.1.5. Empenos

Os empenos são alterações da forma de uma peça relativamente à sua superfície original. Podem suceder por várias razões, desde o fio irregular, a desigualdade de retrações (já abordado em 2.1.3.3.), a inadequadas técnicas usadas na serração, a secagens mal executadas, ou mesmo devido ao mau acondicionamento das peças durante o armazenamento. Apesar de não influenciarem de forma negativa a resistência da madeira, as peças com esta anomalia introduzem dificuldades na colocação em obra e podem até comprometer a funcionalidade da estrutura que integram, além dos óbvios problemas de carácter estético e funcional que acarretam para as obras finais.

#### 3.1.1.6. Ataques Bióticos

A madeira é um material de origem orgânica e, portanto, é bastante comum sofrer ataques bióticos, esteja em ambiente natural, como elemento da árvore, ou na sua forma serrada, sobretudo se as condições locais forem adequadas ao desenvolvimento dos agentes xilófagos<sup>4</sup>. Este é, de facto, um dos eventos que maior deterioração e maior dano podem provocar nas estruturas de madeira, não só pela grande variedade existente de agentes de degradação, mas também por poderem avivar e aumentar os efeitos acumulados da presença de outras anomalias. A resistência mecânica das estruturas pode ser

<sup>4</sup> Ser vivo que *come* madeira.

gravemente afectada de acordo com as alterações mais ou menos profundas provocadas na superfície da madeira, requerendo mesmo o seu reforço ou substituição, dependendo se o ataque se encontra activo ou não.

Os agentes mais representativos do ataque biótico em estruturas de madeiras em edifícios são os fungos xilófagos, os insectos de ciclo larvar (carunchos) e os insectos sociais (térmitas) (Botelho, 2006) [4].

Das patologias causadas pelos agentes bióticos nas madeiras, realçam-se as seguintes (Franco, 2008) [23]:

- Tom azulado: a alteração da coloração da madeira é causada por um ataque de fungos xilófagos às células superficiais, estimulando um aumento da permeabilidade local;
- Bolores: apenas alteram a superfície da madeira, sendo facilmente removidos por uma limpeza pouco profunda da zona afectada;
- Podridão: provocada por fungos de podridão (fungos xilófagos), que podem afectar gravemente as estruturas em madeira, conduzindo a uma perda de propriedades mecânicas (densidade, resistência estática e dinâmica) e a madeira atingida por este facto torna-se bastante higroscópica e a sua coloração pode mudar de acordo com o tipo de podridão existente;
- Ataques de caruncho e traça (insectos de ciclo larvar): deterioram acentuadamente as funções mecânicas da madeira, atingindo particularmente o borne e criando galerias no seu interior e a sua detecção é relativamente fácil de observar pela formação de orifícios circulares na superfície da madeira e pela produção de serrim no decorrer da sua actuação;
- Ataques de térmitas (insecto social): estes insectos também são caracterizados por construírem pequenos túneis no seio das peças de madeira, como os anteriores, muito embora, neste caso, as galerias não sejam detectadas visualmente por serem geralmente criadas numa zona mais interior, com excepção dos casos em que são realizadas no exterior do elemento.

### 3.1.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS MAIS RELEVANTES

Para compreender o comportamento mecânico da madeira, torna-se fundamental conhecer a sua estrutura anatómica, devido ao seu carácter orgânico, higroscópico, anisotrópico e heterogéneo. A variabilidade com que os diversos constituintes do lenho se acomodam ao nível celular espelha as propriedades mecânicas intrínsecas a cada espécie, contribuindo de forma diferente para a resistência da peça. Assim, é essencial que se dominem estas características para que se efectue uma avaliação da capacidade resistente e dimensionamento estrutural adequados.

Posto isto, importa esclarecer que a designação de resistência mecânica não deve ser literalmente aplicada como a resistência global da madeira. O comportamento resistente da madeira deve, por outro lado, ser cotado de acordo com o tipo de solicitação a que está sujeito, consoante a sua grandeza, duração e direcção. No entanto, relativamente a este último, basta considerar diferentes propriedades mecânicas em duas direcções, a paralela e a perpendicular às fibras, isto porque se verificam grandes discrepâncias entre os valores das mesmas.

Como exemplo desta disparidade, a resistência do pinho bravo à tracção no sentido paralelo das fibras que é cerca de 50 vezes superior à mesma resistência no sentido perpendicular (Carvalho, 1996) [6].

A árvore erige uma estrutura tubular ao longo da sua vida com elevada eficácia para resistir às solicitações a que vai estar sujeita, durante o seu desenvolvimento, tais como a acção do vento (esforços de flexão) e as acções gravíticas (esforços de compressão).

De seguida, resumem-se as principais propriedades mecânicas da madeira:

- Resistência à tracção paralela às fibras ou axial;
- Resistência à compressão paralela às fibras ou axial;
- Resistência à tracção perpendicular às fibras;
- Resistência à compressão perpendicular às fibras;
- Resistência à flexão estática;
- Resistência ao corte ou escorregamento;
- Dureza;
- Resistência à fadiga;
- Fluência.

Nos próximos pontos serão tratadas as resistências relativas à flexão e às solicitações aplicadas na direcção do fio, por se considerarem mais relevantes para este estudo e, também, as resistências às solicitações aplicadas perpendicularmente à direcção do fio, por serem as que mais problemas trazem aos elementos estruturais de madeira.

#### 3.1.2.1. Resistência à Tracção Paralela às Fibras ou Axial

A madeira apresenta uma elevada resistência à tracção paralela às fibras, que pode, nas peças livres de irregularidades, atingir valores superiores aos conseguidos em flexão que, por sua vez, são maiores que os obtidos em compressão axial.

A resistência à tracção axial pode ser até cerca de três vezes superior à resistência à compressão axial e um pouco maior que a resistência à flexão estática, para peças livres de defeitos (Carvalho, 1996) [6].

Quando ocorre uma solicitação de tracção a actuar no sentido paralelo às fibras, dá-se uma aproximação entre as mesmas, ou seja, a coesão axial e aderência entre os filamentos da peça aumentam. Esta reacção do elemento faz com que, em situações normais, não ocorra a rotura pela acção isolada deste esforço, quer no estado de árvore quer aplicada em estruturas correntes. No caso de ocorrer rotura de elementos sujeitos a esforços de tracção para valores inferiores aos conhecidos, significa que normalmente a peça estaria a ser solicitada conjuntamente por outros tipos de acções.

#### 3.1.2.2. Resistência à Compressão Paralela às Fibras ou Axial

Para peças livres de defeitos, a resistência da madeira à compressão paralela às fibras é elevada, sendo inferior à da resistência à flexão e tracção na mesma direcção. Por exemplo, para pinho bravo, esses valores são da ordem dos 45% e dos 40%, respectivamente, podendo esta relação ser aproximada para outras espécies.

Ao contrário do que sucede à reacção da madeira para os esforços de tracção paralela às fibras, neste caso, para uma compressão axial ocorre um afastamento longitudinal entre os filamentos, ou seja, provoca uma redução da sua coesão axial tal como da resistência da peça.

A resistência estrutural dos elementos de madeira sujeitos à compressão na direcção do fio é influenciada pelos seguintes parâmetros:

- Defeitos: as anomalias provocam poucas alterações aos valores desta propriedade, sendo ainda menores do que as ocorridas para os esforços de tracção axial;
- Massa volúmica: quanto maior for a densidade da madeira, maior será o seu valor resistente a esta solitação;
- Teor de água: o valor mínimo da resistência à compressão é atingido quando a madeira possui um valor do PSF superior a 30% do teor de água e o máximo quando se apresenta no seu estado anidro;

A avaliação da resistência à compressão axial da madeira é muito importante para elementos estruturais como os pilares ou as colunas. Neste tipo de peças estruturais, o valor do módulo de elasticidade influencia bastante o seu comportamento e, portanto, a análise de eventuais instabilidades (encurvadura) deve ser cuidada. Quanto menor for o valor da sua rigidez menor será a capacidade resistente das peças esbeltas a este tipo de esforços.

### 3.1.2.3. Resistência à Tracção Perpendicular às Fibras

A resistência da madeira à tracção perpendicular à direcção do fio é bastante reduzida (na ordem de 30 a 70 vezes menor que a sua tracção axial). Esta baixa capacidade resistente é explicada pelas fracas ligações intercelulares existentes, fruto do reduzido número de fibras de celulose que a madeira possui na direcção perpendicular ao seu eixo (raios medulares) e, portanto, na consequente falta de travamento transversal das fibras longitudinais. Na Figura 3.3, podemos visualizar melhor o comportamento da madeira sujeita a este tipo de solitação.

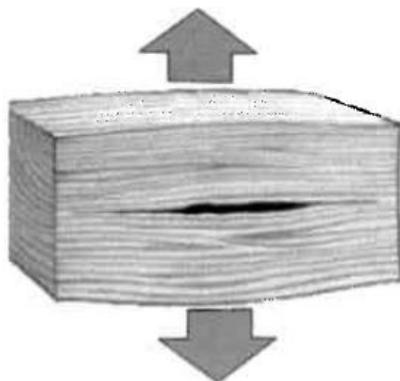


Fig. 3.3 – Tracção perpendicular ao fio (Cachim, 2007) [5].

A resistência à tracção normal às fibras não se relaciona com a massa volúmica, dado que esta não condiciona a aderência entre as fibras do tecido lenhoso da peça de madeira. Depende, como já foi referido, da composição química da madeira e da disposição relativa dos elementos celulares (Bauer, 2001) [2].

Nas peças estruturais de madeira devem ser evitados este tipo de solitações para situações em serviço. Se tal não for possível, devem ser previstos elementos de reforço, tais como chapas ou estribos metálicos.

#### 3.1.2.4. Resistência à Compressão Perpendicular às Fibras

A resistência à compressão normal à direcção do fio é, a par de todas as propriedades transversais da madeira, bastante inferior à correspondente na direcção axial. A capacidade de resposta a este tipo de solicitação pode ser considerada como condicionada pela resistência ao esmagamento e depende da massa volúmica do material.

O valor característico da resistência perpendicular às fibras representa cerca de 11% da resistência na direcção paralela ao fio para as resinosas, enquanto para as folhosas é de 36% (Cachim, 2007) [5].

Na Figura 3.4, podemos observar o comportamento da madeira sujeita a este tipo de solicitação. As cargas deste género ocorrem essencialmente nos locais de apoios das vigas, onde toda a carga se concentra numa pequena área de superfície que tem como função a transmissão adequada dos esforços de reacção aos apoios sem sofrer deformações relevantes (esmagamento) e plastificação.

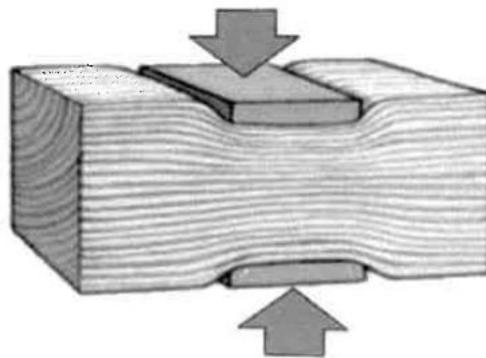


Fig. 3.4 – Compressão perpendicular ao fio (Cachim, 2007) [5].

#### 3.1.2.5. Resistência à Flexão Estática

A resistência à flexão é das mais importantes propriedades da madeira, uma vez que, normalmente, a maior parte dos elementos estruturais estão sujeitos a este tipo de esforço.

A madeira apresenta elevada capacidade resistente à flexão estática, chegando a atingir valores próximos aos da resistência à tracção axial. Para o pinho bravo, por exemplo, a resistência à flexão estática em peças isentas de defeitos é de cerca de 90% do valor da tracção axial.

Mesmo quando comparada com outros materiais estruturais, a madeira oferece grande resistência à flexão, que se distingue, sobretudo, pelo valor da sua densidade.

A influência do teor de água, da massa volúmica e dos defeitos é semelhante à referida no ponto 3.1.2.2. para a resistência de elementos estruturais submetidos à compressão paralela às fibras. Por sua vez, o módulo de elasticidade à flexão estática na direcção axial é uma característica bastante importante na análise estrutural, por se tratar de um indicador ou medida da flexibilidade ou rigidez de um material. Este apresenta um valor relativamente baixo, sendo ainda mais baixo o correspondente para elementos sujeitos a cargas na direcção perpendicular ao fio.

### 3.1.3. PRINCIPAIS FACTORES QUE INFLUENCIAM AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

Tratando-se de um material de origem orgânica, a madeira está naturalmente associada a uma grande complexidade de factores que influenciam as suas características intrínsecas ao nível físico e mecânico, que reflectem a sua anisotropia, variabilidade e heterogeneidade. Neste ponto, pretende-se apresentar as propriedades deste material que demonstram ter maior importância quando se requer uma análise estrutural.

Posto isto, os factores de grande variabilidade na madeira e principais condicionantes como material estrutural são:

- Espécie botânica: a estrutura anatómica e a constituição e disposição orgânica dos constituintes da madeira são determinantes no comportamento físico e mecânico desta, variam de espécie para espécie e, portanto, o conhecimento das espécies é fulcral na identificação correcta do tipo de árvore, para perceber como utilizar estruturalmente e classificar as peças de madeira adequadamente;
- Existência de defeitos: a presença de irregularidades na madeira pode provocar um comportamento físico e mecânico instável, de acordo com a sua importância (nós e inclinação do fio são os mais relevantes), a dimensão e a localização no elemento de madeira;
- Localização da peça no tronco da árvore: há variações notáveis das propriedades características do lenho consoante a zona de onde é retirada a peça estrutural, seja ela, retirada do borne, do cerne, ou próximo da copa ou das raízes (realça-se que as percentagens de borne e cerne dependem da altura da árvore);
- Massa volúmica: a massa volúmica aparente é um parâmetro indicador da concentração de matéria existente e resistente no lenho, por unidade de volume, sendo possível estimar por correlação outras propriedades com ela relacionadas, através de equações determinadas experimentalmente;
- Teor de água: a resistência mecânica da madeira varia consoante a percentagem de humidade presente no seu seio, assim como provoca alterações profundas ao nível físico e da sua integridade, sendo a resistência do lenho máxima para o seu estado anidro, decrescendo com o aumento do teor de humidade e alcançando o seu mínimo quando se apresenta completamente saturada.

## 3.2. CLASSIFICAÇÃO DE MADEIRAS

### 3.2.1. CLASSES DE QUALIDADE

Para que a madeira possa ser utilizada como material de construção seguro e fiável, torna-se fundamental assegurar que toda ela passe por um processo de controlo de qualidade para que se garanta que todas as peças estruturais com dimensões comerciais atinjam determinados parâmetros. Esta conformidade é necessária para que as peças aplicadas pelos construtores apresentem as características físicas e mecânicas que os mesmos necessitam, de acordo com as especificações do seu projecto.

Actualmente, este processo designa-se de classificação de madeiras, que facilita não só a definição dos padrões principais das espécies lenhosas de acordo com as suas características, mas também simplifica a atribuição de um valor comercial mais claro consoante a qualidade da matéria-prima.

A classificação das madeiras pode ser efectuada de dois modos: a classificação visual e a classificação por máquina. O primeiro é a classificação visual, que é realizada de acordo com a avaliação das

características da madeira, da presença de defeitos, das irregularidades no corte, e das alterações do lenho, sendo estes parâmetros determinados através das normas existentes. Estas definem formas de quantificação e limitam os defeitos para agrupar madeiras semelhantes entre si, às quais se atribui um nível de qualidade média, constituindo cada grupo uma classe de qualidade. O segundo lida com uma classificação por máquina, que consiste na avaliação não destrutiva da madeira através da utilização de equipamentos sensoriais que possibilitam a realização de medições e determinam uma ou várias propriedades, sem recorrer a inspecção visual. Adicionalmente, a madeira é associada a classes de resistência, através da realização de ensaios, às quais são atribuídos valores específicos de resistência, massa volúmica, rigidez, entre outros.

Ao nível da regulamentação europeia existente, a classificação da madeira em classes de qualidade é fundada nas quatro partes da norma EN 14081:2005 [34, 35, 36 e 37] (ainda não traduzidas):

- EN 14081-1, *Timber Structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 1 – General requirements*;
- EN 14081-2, *Timber Structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 2 – Machine grading: additional requirements for initial type testing*;
- EN 14081-3, *Timber Structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 3 - Machine grading: additional requirements for factory production control*;
- EN 14081-4, *Timber Structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 4 - Machine grading – grading machine settings for machine controlled systems*.

Esta norma define e descreve as regras gerais de classificação das madeiras para uso estrutural, de acordo com os dois modos de avaliação existentes, já referidos.

Actualmente é muito difícil associar de forma completa e lógica um conjunto de normas que possam ser utilizadas globalmente e, por isso, a EN 14081:2005 [34, 35, 36 e 37] conjuga bases que podem servir de referência para a normalização existente em cada país. Por este motivo, devem manter-se as regulamentações nacionais (neste caso a nível europeu), desde que cumpram os requisitos presentes na norma referida e sejam utilizados os critérios de medição de defeitos enunciados na EN 1310:1997 [33] e a terminologia definida na NP EN 844-1:2001<sup>5</sup> [50].

Em termos de regulamentações nacionais, existem normas de classificação visual de madeiras para um reduzido conjunto de espécies, que definem classes de qualidade através da limitação de defeitos. Todas elas se aplicam a madeira serrada, ou seja, madeira maciça obtida directamente de borne ou cerne do tronco da árvore, para peças cuja geometria apresenta a forma de vigas ou pranchas. Apresentam-se de seguida as principais normas europeias com vigor em países europeus específicos acerca deste assunto:

- DIN 4074-1:2001 [32] (Alemã), aplicável a madeiras resinosas de pinho, espruce, abeto e cipreste;
- UNE 56544:2003 [52] (Espanhola), aplicável a diversas espécies de pinho espanhol;
- NF B52-001:1998 [40] (Francesa), aplicável a madeira de carvalho;
- INSTA 142:2008 [39] (Nórdica), aplicada às mesmas espécies referidas na norma alemã;
- NP 4305:1995 [42] (Portuguesa), aplicável a madeira de pinho bravo português.

<sup>5</sup> Além da norma europeia traduzida, a nível nacional pode ser consultado, no mesmo âmbito, o documento do LNEC ITES 11 (Machado, 1996) [25].

Cada uma das normas referidas define classes de qualidade específicas que se apresentam de forma resumida no Quadro 3.1, a título de exemplo.

Quadro 3.1 – Normas de classificação e classes de qualidade (Adaptado de Franco, 2008) [23].

Norma de Classificação Visual	Classe de Qualidade
Alemanha: DIN 4074 Parte I (2001)	S13, S10, S7
Espanha: UNE 56544 (2003)	ME-1, ME-2
França: NF B52-001 (1998)	ST-I, ST-II, ST-III
Países Nórdicos: INSTA 142 (2008)	T3, T2, T1, T0
Portugal: NP 4305 (1995)	EE, E

De referir que, a nível nacional, de acordo com a NP 4305:1995 [42] a madeira é classificada em duas classes de qualidade: Classe EE (Especial para Estruturas) e Classe E (Estruturas). Além da norma citada, também poderão ser consultadas as fichas de especificação do LNEC: *M1 – Especificação de madeira para estruturas* [11]; e *M2 – Pinho bravo para estruturas* [12].

Para além das normas nacionais enunciadas estão disponíveis normas europeias de classificação visual para madeira serrada de outras espécies (não traduzidas para português, mas disponíveis nas três línguas europeias base, inglês, francês e alemão), entre outras, que embora não tenha sido possível a sua consulta fica a sua referência: a EN 975-1:2009 e a EN 975-2:2004 (folhosas: choupo, carvalho, faia) e a EN 1611-1:2002 (resinosas: espruce, abeto, pinho, pseudotsuga).

Apesar da existência de legislação reguladora da classificação visual, este é um método que como qualquer outro, acarreta vantagens e inconvenientes:

- Trata-se de uma técnica simples e de fácil compreensão, mas necessita de uma preparação prévia do operador, para que seja aplicada de forma expedita;
- Por ser realizada por um classificador está dependente da objectividade e rigor aplicados;
- A classificação subestima a capacidade resistente da madeira, beneficiando o consumidor, devendo ser aplicados conjuntamente métodos não destrutivos para minimizar a perda económica da parte do produtor;
- É um processo aplicado peça a peça e que tem de ser realizado com rapidez para se tornar economicamente viável;
- Não utiliza equipamentos dispendiosos e permite confirmação de resultados a qualquer altura.

### 3.2.2. CLASSES DE RESISTÊNCIA

A definição de classes de resistência consiste no agrupamento de espécies de madeira para estruturas com idênticas propriedades físicas e mecânicas para que se garanta que, consoante o padrão necessário, a madeira terá comportamento correspondente. Através deste processo, os projectistas apenas precisam de definir a classe de resistência da madeira que se adequa às suas necessidades e, de seguida, consultar a disponibilidade das peças com os produtores, de acordo com a durabilidade pretendida. Desta forma, reduzem-se os stocks e facilita-se a aplicação da madeira em estruturas, por não ser necessária a escolha de uma espécie à partida.

O conceito de classe de resistência vem ainda facilitar o controlo da qualidade estrutural pelo construtor e fiscalização, assim como melhorar a forma de especificação do material e a escolha dos valores de cálculo a utilizar pelo projectista no cálculo estrutural.

As classes de resistência para madeira maciça estão definidas na NP EN 338:2003 [49] onde se estabeleceram doze grupos resistentes para as resinosas e choupo (C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45 e C50) e seis conjuntos para folhosas (D30, D35, D40, D50, D60 e D70). Esta norma apresenta valores numéricos de cálculo das propriedades físicas e mecânicas com interesse para projecto em estruturas (Quadros 3.2 e 3.3). A distinção entre resinosas e folhosas resulta dos seus comportamentos estruturais diferentes, consequentes das suas características inerentes. O choupo é a única excepção devido à semelhante relação entre a densidade e resistência que é comparável às resinosas.

A designação de uma determinada classe é representada por sigla de acordo com a população lenhosa e a capacidade resistente associada. A letra “C” representa as resinosas (*Coniferous* – termo em inglês) e a “D” refere-se às folhosas (*Deciduous* – termo em inglês). O número corresponde respectivamente ao valor da resistência característica à flexão na direcção do fio [ $\text{N/mm}^2$ ].

Como já foi referido, a nível nacional, pode também ser consultada a ficha de especificação do LNEC: *M1 – Especificação de madeira para estruturas* [11], que congrega várias informações úteis relativas a este tema.

Quadro 3.2 – Propriedades físicas e mecânicas de madeira resinosa para estruturas (NP EN 338:2003) [49].

Espécies Resinosas		Classes de Resistência											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
<b>Propriedades resistentes, em <math>\text{N/mm}^2</math> (Mpa)</b>													
Flexão	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tracção paralela ao fio	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Tracção perpendicular ao fio	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão paralela ao fio	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Compressão perpendicular ao fio	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Corte	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8
<b>Propriedades de rigidez, em <math>\text{kN/mm}^2</math> (GPa)</b>													
Módulo de elasticidade paralelo ao fio (valor médio)	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
Módulo de elasticidade paralelo ao fio (valor característico)	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
Módulo de elasticidade perpendicular ao fio (valor médio)	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Módulo de distorção (valor médio)	$G_{mean}$	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
<b>Massa volúmica, em <math>\text{kg/m}^3</math></b>													
Valor característico	$\rho_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Valor médio	$\rho_{mean}$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

**Nota:**

- Os valores indicados para a resistência à tracção, resistência à compressão, resistência ao corte, valor característico do módulo de elasticidade, valor médio do módulo de elasticidade perpendicular ao fio e valor médio do módulo de distorção foram calculados usando as equações apresentadas no Anexo A.
- Os valores tabelados correspondem a madeira com um teor em água em equilíbrio com uma temperatura de 20°C e humidade relativa do ar de 65%.
- Madeira das classes C45 e C50 pode não estar disponível de imediato.

Quadro 3.3 – Propriedades físicas e mecânicas de madeira folhosa para estruturas (NP EN 338:2003) [49].

Espécies Folhosas		Classes de Resistência					
		D30	D35	D40	D50	D60	D70
<b>Propriedades resistentes, em N/mm<sup>2</sup> (Mpa)</b>							
Flexão	$f_{m,k}$	30	35	40	50	60	70
Tracção paralela ao fio	$f_{t,0,k}$	18	21	24	30	36	42
Tracção perpendicular ao fio	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão paralela ao fio	$f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
Compressão perpendicular ao fio	$f_{c,90,k}$	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Corte	$f_{v,k}$	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
<b>Propriedades de rigidez, em kN/mm<sup>2</sup> (GPa)</b>							
Módulo de elasticidade paralelo ao fio (valor médio)	$E_{0,mean}$	10	10	11	14	17	20
Módulo de elasticidade paralelo ao fio (valor característico)	$E_{0,05}$	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Módulo de elasticidade perpendicular ao fio (valor médio)	$E_{90,mean}$	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Módulo de distorção (valor médio)	$G_{mean}$	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
<b>Massa volúmica, em kg/m<sup>3</sup></b>							
Valor característico	$\rho_k$	530	560	590	650	700	900
Valor médio	$\rho_{mean}$	640	670	700	780	840	1080
<b>Nota:</b>							
i) Aplicam-se as mesmas notas explicitadas no Quadro 3.2.							

Os valores apresentados nos quadros anteriores foram obtidos do seguinte modo:

- As principais propriedades físicas e mecânicas através do resultado de numerosos ensaios ( $E_{0,mean}$ ,  $f_{m,k}$ ,  $\rho_k$ );
- As restantes propriedades, como resultados de relações numéricas obtidas por extrapolação estatística dos valores dos ensaios, ou seja, como resultado da utilização de relações numéricas simples a partir das características de resistência, rigidez e massa volúmica.

### 3.2.3. RELAÇÃO ENTRE CLASSES DE QUALIDADE E CLASSES DE RESISTÊNCIA

A correspondência entre as classes de qualidade e as classes de resistência a nível europeu está indicada na norma NP EN 1912:2003 [44] para as espécies correntemente utilizadas em estruturas. Nesta norma apresenta-se uma listagem de classes de resistência e correspondentes classes de qualidade e espécies de madeira definidas de acordo com as normas de vários países da Europa Central, do Canadá, do Japão e Estados Unidos da América. No anexo da mesma norma, são ainda referidas as normas de classificação visual de madeira para vários países e respectivas classes de qualidade. No Quadro 3.4 são apresentadas, a título de exemplo, algumas relações entre as classes referidas:

Quadro 3.4 – Relação entre classes de qualidade e classes de resistência (NP EN 1912:2003) [44].

Espécie de Madeira	Classe de Qualidade (Norma)	Classe de Resistência
<i>Pinho Bravo</i> ( <i>Pinus Pinaster Ait.</i> )	<i>E (NP 4305)</i>	<i>C18</i>
<i>Casquinha</i> ( <i>Pinus Silvestris L.</i> )	<i>SS (BS 4978)</i> <i>GS (BS 4978)</i>	<i>C24</i> <i>C16</i>
<i>Espruce</i> ( <i>Picea Ables Kars</i> )	<i>S13 (DIN 4074)</i> <i>S10 (DIN 4074)</i> <i>S7 (DIN 4074)</i>	<i>C30</i> <i>C24</i> <i>C16</i>
<i>Câmbala</i> ( <i>Milícia Excelsea A. Chev.</i> ou <i>M. Regia A. Chev.</i> )	<i>HS (BS 5756)</i>	<i>D40</i>

Em Portugal, existe apenas uma norma de classificação em classes de qualidade para a espécie de pinho bravo, a NP 4305:1995<sup>6</sup> [42]. Como já foi referido, a classificação é feita em classes de qualidade E e EE, sendo estas classes correspondentes aproximadamente às C18 e C35 da NP EN 338:2003 [49]. A Classe EE não vem considerada na norma NP EN 1912:2003 [44] e, portanto, não é reconhecida como C35 para efeitos de certificação de produto. Importa referir que no nosso país não é possível encontrar madeira da Classe EE.

A classificação de madeiras é realizada geralmente para madeira nova, de acordo com as normas referidas. Deve ser dada pelo produtor uma certificação de produto da madeira que está a comercializar, incluindo a sua origem, a espécie e a classe de resistência a que pertence. Quanto à madeira antiga, a classificação é feita através da atribuição de valores às propriedades mecânicas observadas e medidas *in situ* e, se possível, com comprovação realizada em laboratório, submetendo amostras a ensaios. Este enquadramento da madeira antiga nos padrões actuais é um processo meticuloso e exige um conhecimento profundo das espécies e das propriedades físicas e mecânicas da madeira, tal como da legislação existente.

A relevância da correcta classificação e confirmação da certificação de produto na chegada à obra é facilmente compreendida pela enorme variabilidade da capacidade resistente das peças, em função da classe de qualidade respectiva. Salienta-se o facto de, num processo de classificação, se encontrarem peças que não cumprem os padrões explícitos na normalização existente quanto aos defeitos, as quais, consequentemente, não deverão ser utilizadas em estruturas.

Posto isto, o cuidado no controlo das peças de madeira tem de estar sempre presente nos profissionais envolvidos no projecto, no fabrico e na montagem de estruturas de madeira. Todos os responsáveis envolvidos devem ter conhecimentos mínimos de classificação de madeiras, para que, durante a realização das construções, sejam detectadas quaisquer peças defeituosas que tenham escapado ao controlo de qualidade do produto.

<sup>6</sup> Recomenda-se que para a Classe E se adoptem os valores indicados na ficha de especificações do LNEC: M2 – Pinho bravo para estruturas [12].

### 3.3. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE MADEIRA ANTIGA

#### 3.3.1. MÉTODO DEDUTIVO

As madeiras apresentam valores de resistência mecânica distintos, de acordo com a sua espécie, também associados ao facto de terem origem num material natural que apresenta variabilidade elevada de acordo com a sua massa volúmica e a eventual presença de defeitos. Por estes motivos, a classificação visual dos elementos de madeira existentes deve permitir atribuir uma dada classe de qualidade e consequentemente um determinado valor de resistência mecânica, de acordo com as normas aplicáveis. Deve ser referido que a avaliação não deverá desprezar os factores que influenciam as propriedades físicas e mecânicas da madeira (em especial o teor de água) para que esta decorra adequadamente.

Para que a avaliação da segurança estrutural de um edifício existente seja possível, os elementos que o compõe não deverão estar montados de forma oculta ou serem de difícil acesso para observação visual. A avaliação das propriedades de madeira antiga é, de facto, uma tarefa complexa, porque, para a realizar, será necessário estimar a resistência, o estado sanitário e a integridade dos elementos estruturais.

Desta forma, deverão ser adoptadas formas simplificadas para avaliar as características da madeira, seguindo as normas europeias existentes e que se aplicam em Portugal. O esquema apresentado na Figura 3.5 pretende representar uma forma simples de executar este procedimento, baseado no ponto 6.2.2 da norma NP EN 338:2003 [49] que indica que é possível atribuir a uma população de madeiras uma determinada classe de resistência, desde que a sua resistência à flexão na direcção paralela ao fio ( $f_{m,k}$ ), a sua massa volúmica ( $\rho_m$ ) e o seu módulo de elasticidade médio na direcção axial ( $E_{0,mean}$ ), sejam todos superiores aos valores correspondentes à classe respectiva.

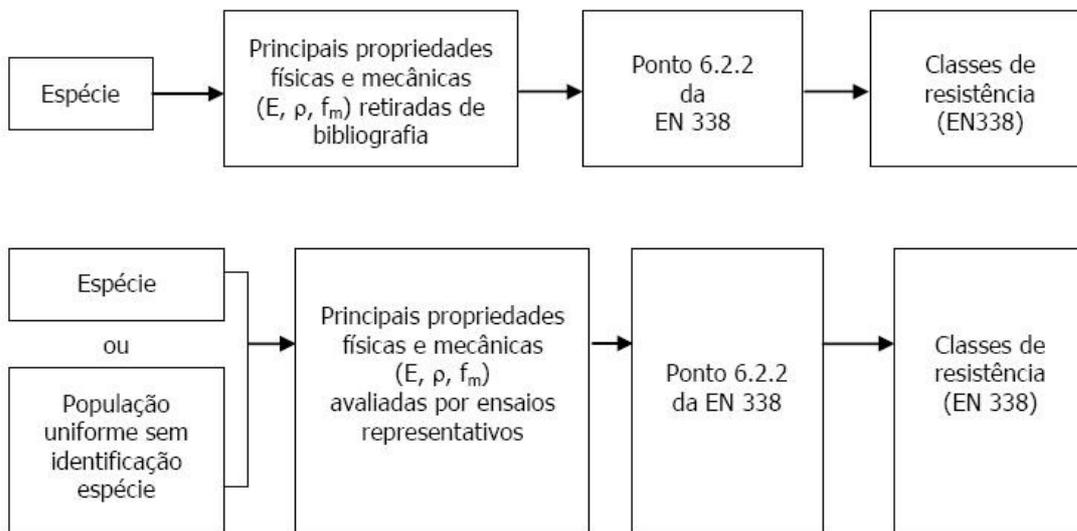


Fig. 3.5 – Atribuição de classes de resistência a madeiras em serviço (Botelho, 2006) [4].

De facto, ao adoptar os passos ilustrados na figura anterior, correspondendo a utilizar o designado Método Dedutivo, isto é, uma inferência dada pelo conhecimento da espécie e das principais propriedades físicas e mecânicas, tendo por base as indicações de normas de madeira nova, será possível chegar à atribuição de uma classe de resistência.

Posto isto, é fundamental ter a capacidade para identificar a espécie lenhosa, o que implica conhecer as características visuais das madeiras (nomeadamente, a cor, a largura dos anéis de Inverno e de Verão, a dureza superficial, as diferenças entre o borne e o cerne, entre outros) e, se possível, recolher amostras para confirmação em laboratório. Destaque, no entanto, para a massa volúmica, que é o indicador que melhor possibilita verificar a avaliação realizada.

A aplicação desta metodologia às principais madeiras usadas em estruturas está representada no Quadro 3.5. Os valores das propriedades mecânicas foram adaptados da publicação de Albino Carvalho (Carvalho, 1996) [6], à exceção do módulo de elasticidade, deduzido de forma conservadora da consulta do livro “*Le guide des essences de bois*” (Benoit, 1997) [3].

Quadro 3.5 – Classes de resistência a usar no cálculo de estruturas de madeira portuguesa<sup>7</sup>.

Espécie de Madeira	$f_{m,k}$ (Mpa)	$E_{0,mean}$ (Gpa)	$\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	Classe EN 338:2003
Castanho ( <i>Castanea sativa</i> , Mill)	97	10	540	D30
Carvalho ( <i>Quercus faginea</i> , Lam.)	122	10	700	D30
Eucalipto ( <i>Eucalyptus globulus</i> , Labill)	137	10	700	D30
Choupo branco ( <i>Populus Alba</i> , L.)	80	10	420	C22

De referir que, o conhecimento relacionado com a classificação de madeiras, ainda que genérico, deve ser sempre aplicado para que seja possível intervir nos elementos que não possuem condições para suportar cargas de forma segura.

Na avaliação da segurança de estruturas antigas é também fundamental interligar as lesões e defeitos resultantes do uso com as solicitações a que os elementos estruturais estão sujeitos, para se poder analisar se essas irregularidades são críticas, de acordo com os esforços a que a peça irá estar sujeita em serviço.

### 3.3.2. MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS

O recurso a métodos não destrutivos, utilizando equipamento simples, na avaliação das propriedades de madeira antiga, é fundamental, para que se realize uma análise da estabilidade e se averigue o estado de conservação das construções existentes, de forma consistente e fiável. No entanto, este tipo de avaliação deve estar englobado numa campanha de observações onde se incluem outros tipos de técnicas e inspeções, tais como, por exemplo, uma classificação visual, para que os resultados da inspeção se tornem cada vez mais consistentes e rigorosos. Aparte de, na sua generalidade, os métodos não destrutivos permitirem obter informações, quantitativas e, principalmente, qualitativas, de grande importância para a avaliação de estruturas *in situ*, nenhum tipo de abordagem deverá substituir uma análise pessoal ponderada.

<sup>7</sup> Madeira antiga sem defeitos relevantes.

Segundo Machado, as técnicas não destrutivas são aquelas que “infringindo ou não danos mecânicos aos elementos inspeccionados, não condicionam significativamente a sua capacidade resistente.” Sendo que “a utilização destes métodos deve ser feita numa lógica de interacção, para que o utilizador não se veja confrontado com um número insuficiente de dados, ou com uma grande quantidade de informação que pode não conseguir interpretar correctamente” (Machado, 2000) [26].

Feio refere ainda que, “A inspecção e avaliação *in situ* das propriedades da estrutura representam uma importante parte da conservação das estruturas históricas de madeira e os métodos não destrutivos são excelentes para atingir um bom nível de conhecimento na análise estrutural, diagnóstico e inspecção de construções antigas” (Feio, 2005) [22].

De entre os vários métodos não destrutivos conhecidos, destacam-se os seguintes:

- Dendrocronologia;
- Detecção da emissão acústica;
- Georradar;
- Humidímetro;
- Pylodín;
- Radiografias;
- Resistograph;
- Ultra-sons;
- Vibrações induzidas.

A dendrocronologia é um método de inspecção que permite avaliar o tempo de vida de um determinado elemento estrutural de madeira (datação da madeira). Esta técnica demonstra bastante interesse no que respeita à qualificação do património histórico e construtivo, podendo contribuir para uma melhor interpretação do comportamento mecânico das estruturas existentes. Contudo, este processo apenas pode aplicar-se a espécies com formação lenhosa perceptível, ou seja, cujos anéis de crescimento estão bem definidos e pelos quais se pode identificar o historial evolutivo da madeira, como já foi referido em 2.1.2.

A técnica de detecção da emissão acústica consiste na utilização de equipamento para identificar a presença de insectos xilófagos, como por exemplo as térmitas, através da recepção e amplificação das ondas sonoras que estas emitem durante a sua actividade e que se propagam nas fibras da madeira. Demonstra grande utilidade nas inspecções *in situ*, uma vez que permite distinguir as acções de vários agentes bióticos (pelas ondas sonoras características emitidas) e identificar zonas afectadas não perceptíveis por simples observação visual.

O georradar é uma técnica geofísica de grande precisão, baseada na análise da propagação de ondas electromagnéticas na banda de frequências UHF-VHF (normalmente entre 100 MHz e 1,5 GHz), emitidas por impulsos de curta duração e captadas por antenas. O receptor capta as diferenças de energia electromagnética por fenómenos de reflexão, refacção ou difracção, sendo possível a caracterização do interior das peças ensaiadas (Botelho, 2006) [4].

A estimativa do valor do teor de água pode ser obtida a partir da utilização do humidímetro e, deste modo, podem ser identificadas zonas propensas ao ataque de agentes bióticos. O assinalar de um valor elevado de humidade pode alertar para zonas de potencial ataque biótico e para deficiências na estanquidade de coberturas ou fachadas, que deverão ser inspeccionadas com maior atenção para avaliar a eventual existência de problemas.

O Pylodín é um aparelho que permite medir a densidade superficial da madeira. Este possui um pino que é percutido contra a superfície da madeira por um impacto com determinada energia, sendo a

penetração na madeira tanto maior quanto menor for a dureza da mesma na direcção transversal. A profundidade de penetração deste pino metálico pode constituir uma medida da intensidade e profundidade de degradação da madeira devida a fungos de podridão (Cruz, 2000) [14]. A utilização deste instrumento para avaliação de estruturas é discutível, não só pelas correlações obtidas para a resistência da madeira não serem significativas, mas também por ser facilmente substituído através da adopção de técnicas tradicionais empregando martelos ou lâminas metálicas (Botelho, 2006) [4].

A utilização da radiografia por raios x, foi uma das primeiras técnicas a serem utilizadas no diagnóstico da madeira, tendo, entretanto, a perigosidade e o custo elevado dos aparelhos necessários provocado o seu desuso. Este método consiste na geração de uma imagem bidimensional da composição do elemento, possível devido à influência que a densidade tem na propagação da radiação e que permite identificar vazios, zonas degradadas da madeira e, até, elementos de ligação ou de diferentes materiais. Para colmatar o abandono deste tipo de inspecção, surgiu a radiografia por raios gama (ou radiografia digital), menos perigosa, mais económica e que possibilita uma visualização do interior da peça, em tempo real, como se de uma câmara se tratasse.

O Resistograph é um equipamento que mede a resistência à perfuração por meio de uma agulha que causa um dano praticamente nulo à peça de madeira. Possibilita a detecção de zonas deterioradas, vazios e defeitos internos (não perceptíveis por inspecção visual), variações de densidade, mas não fornece dados acerca da resistência mecânica do material. Embora seja um método bastante utilizado e de fácil aplicação, Botelho refere que se torna numa metodologia bastante morosa por ser necessário executar no mínimo trinta ensaios por elemento e ainda despende bastante tempo para efectuar o tratamento dos dados que permitem obter resultados representativos (Botelho, 2006) [4].

A metodologia que recorre a ultra-sons é das mais utilizadas na inspecção de estruturas de madeira e baseia-se na determinação do módulo de elasticidade dinâmico, relacionando a velocidade de propagação de ondas acústicas com as propriedades elásticas do material. É realizada em função da espécie lenhosa e permite relacionar o módulo de elasticidade com a capacidade resistente da peça inspecionada. Os aparelhos que correntemente se utilizam nesta prática são o Pundit e o Sylvatest. Diferem no modo como se efectua o ensaio e no tipo de frequência das ondas emitidas. O primeiro realiza a medição por intermédio de uma solução (água, gel ou lubrificante) para frequências que vão desde os 37 aos 150 kHz, enquanto o segundo utiliza frequências mais baixas (na ordem dos 20 kHz) e executa a medição a partir da face do elemento (visto os topos estarem normalmente inacessíveis). Ambos os equipamentos são portáteis e foram concebidos para a inspecção de estruturas através da transmissão de ondas ultra-sónicas entre faces ou topos da madeira (Botelho, 2006) [4].

O método das vibrações induzidas resume-se à medição da velocidade de propagação de ondas de choque ao longo das fibras da madeira, no qual se destaca o aparelho designado de Metriguard. Permite averiguar se existem defeitos, vazios ou podridões na madeira, através da medição da velocidade de propagação das ondas, que é mais lenta no caso de se encontrarem irregularidades. E possibilita a determinação de parâmetros como a massa volúmica e módulo de elasticidade, através de comparações com a geometria e valores de ensaio de peças da mesma espécie.

Apresenta-se de seguida um resumo que estabelece a correspondência entre o método não destrutivo a aplicar em função do objectivo da inspecção (Quadro 3.6).

Quadro 3.6 – Escolha do método não destrutivo em função do objectivo de inspecção (Botelho, 2006) [4].

Objectivo da Inspeção	Técnica Não Destrutiva
Identificação da espécie de madeira	- Inspeção visual - Análise laboratorial
Identificação de tipo de degradação biológica	- Inspeção visual - Detecção acústica
Detecção da extensão de degradação biológica	- Meios tradicionais (Martelo, lâminas metálicas, entre outros) - Resistograph - Raios-X - Vibrações induzidas: Metriguard - Georradar - Sylvatest
Classes de qualidade	- Observação visual - Sylvatest - Georradar - Raios-X
Teor em água	- Humidímetro - Georradar (de forma indirecta)
Detecção de defeitos localizados	- Sylvatest - Resistograph - Raios-X - Vibrações induzidas: Metriguard
Determinação do módulo de elasticidade	- Sylvatest - Resistograph - Vibrações induzidas: Metriguard
Determinação da massa volúmica	- Resistograph
Determinação da densidade superficial	- Pylodin
Datação das madeiras	- Dendrocronologia

Botelho, na sua tese de mestrado intitulada: “*Avaliação não Destrutiva da Capacidade Resistente de Estruturas de Madeira de Edifícios Antigos*”, apresenta uma exaustiva explicação dos vários métodos não destrutivos existentes, assim como das vantagens e inconvenientes adjacentes ao seu uso, encerrando com a aplicação destas técnicas a um caso prático de estudo (Botelho, 2006) [4].

Também Dias desenvolveu na sua tese de mestrado: “*Pavimentos de Madeira em Edifícios Antigos. Diagnóstico e intervenção estrutural*”, modelos simples e pouco intrusivos de actuação e avaliação de pavimentos antigos de madeira, com vista a apoiar a decisão de intervenção construtiva, apresentando soluções de reabilitação e reforço (Dias, 2008) [16].

### 3.4. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA DE INSPECÇÃO E AVALIAÇÃO VISUAL *IN SITU*

#### 3.4.1. CONDIÇÕES LOCAIS PARA A REALIZAÇÃO DA INSPECÇÃO

Durante a realização de uma inspecção *in situ* devem ser estabelecidas condições mínimas satisfatórias para que se possam analisar adequadamente os elementos estruturais, tais como:

- Acessibilidade;
- Limpeza;
- Luminosidade.

A inspecção em obra pode ser condicionada pela ausência total ou parcial destas condições, influenciando negativamente a quantidade e qualidade das informações recolhidas.

Deve ser assegurado em obra que todos os elementos estruturais possam ser observados para inspecção visual e também possam ser submetidos a ensaios não destrutivos simples. Naturalmente, deverão existir no local escadas ou andaimes que permitam que o classificador tenha o acesso em segurança, por exemplo, a vigas, tratando-se de um pavimento. No caso de se tratar de uma construção antiga, devem ser removidas todas as peças construtivas que ocultem as de madeira, pelo menos nos locais mais relevantes do ponto de vista estrutural. Relativamente a edifícios novos ou em vias de reabilitação devem ser previstas soluções construtivas que permitam um acesso periódico para que possam ser realizados os procedimentos necessários.

Normalmente, em edifícios antigos, os elementos de madeira apresentam uma cor mais escura devido à acumulação de pó e sujidades, ou mesmo como resultado de ataques de agentes bióticos. A limpeza da superfície dos elementos a avaliar deve permitir a observação satisfatória das características macroscópicas da madeira (tais como, a cor, os defeitos, entre outros). Poderá ser necessária uma limpeza de fundo que implique a remoção de alguns milímetros de madeira, facto que deve ser levado em conta na avaliação posterior da capacidade resistente do elemento (devido à redução da secção útil da peça).

A luminosidade do local deve ser suficiente para que a superfície dos elementos possa ser observada e estudada com pormenor. Caso contrário, poderá recorrer-se a iluminação artificial, tais como focos de luz portáteis, lanternas convencionais ou outros dispositivos semelhantes. Idealmente a inspecção deve decorrer nos períodos em que existe maior incidência de luz solar, caso se trate de um compartimento dotado de um vão exterior.

#### 3.4.2. MATERIAL NECESSÁRIO NUMA INSPECÇÃO *IN SITU*

Para que se possa efectuar uma inspecção e posterior avaliação de um elemento de madeira *in situ*, tendo em vista o seu enquadramento numa classe de qualidade e correspondente classe de resistência, são necessários vários materiais de trabalho. De seguida, enumeram-se alguns dos elementos correntemente utilizados neste procedimento, sendo na sua maioria relativamente acessíveis:

- Berbequim eléctrico;
- Caderno de anotações e instrumento de escrita;
- Escadotes duplos ou andaimes estáveis;
- Escovas, pincéis e folhas de lixa para madeira;
- Fita adesiva;
- Fita métrica, régua metálica e transferidor;
- Lanterna ou foco de luz;
- Lupa e espelhos reflectores;

- Máquina fotográfica;
- Martelo de cabeça larga, chaves de parafusos e formão;
- Medidor de humidades (humidímetro);
- Vestuário adequado e confortável, óculos protectores, máscara de pó, luvas e capacete.

Na Figura 3.6, são apresentadas algumas ilustrações do procedimento de inspecção utilizando alguns dos materiais previamente referidos.

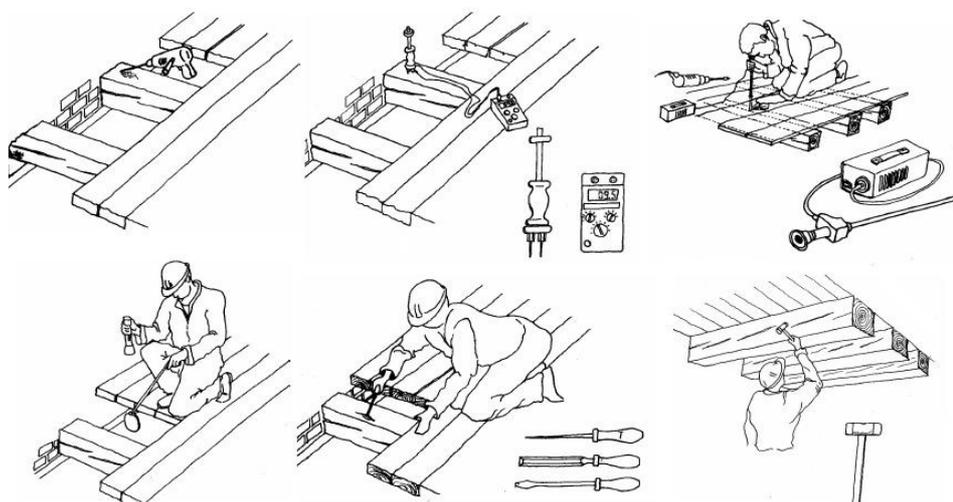


Fig. 3.6 – Técnicas de inspecção (Arriaga, 2002) [1].

Realça-se a importância de utilizar os equipamentos de segurança e protecção referidos, especialmente em construções que estão em vias de serem reabilitadas, devido à presença de vários detritos, ainda que de pequenas dimensões e a muita sujidade, quer aérea, quer depositada na superfície dos elementos construtivos. Deve existir o cuidado para que, na fase de inspecção, o classificador esteja alerta e identifique todas as zonas da estrutura fragilizadas (passíveis de ruir ou de libertar detritos), que coloquem em causa a sua integridade física e dos trabalhadores a laborar no local.

Alguns dos materiais de trabalho listados contribuem de forma significativa para que a avaliação em obra decorra de forma mais eficiente. A máquina fotográfica é fundamental para que seja criado um registo organizado de todos os defeitos e a sua localização, dando origem a um arquivo que possa ser futuramente utilizado. Por isso, para que a recolha de imagens possua uma organização de fácil consulta posterior, o elemento deve ser marcado por troços com uma fita adesiva (inscrevendo, por exemplo, a medida correspondente ao troço ou secção) e deve ser registada uma foto intermédia sempre que se passe à peça seguinte. A utilização de uma régua metálica de espessura reduzida é essencial para que se meça a profundidade de fendas com o maior rigor. Por fim, o recurso a instrumentos de limpeza é recorrente para melhorar a visibilidade de uma determinada zona da superfície da madeira.

### 3.4.3. OBJECTIVOS GERAIS DA INSPECÇÃO

Todas as estruturas devem ser alvo de inspecções periódicas, com vista a identificar numa fase preliminar, eventuais problemas de deterioração dos materiais e estabelecer medidas de manutenção e prevenção, que interrompam qualquer evolução de processos de degradação em curso, assim como

manter ou repor o nível de desempenho dos componentes e dos edifícios em geral. São objectivos de uma inspecção:

- Identificar espécies de madeira existentes;
- Determinar a origem de eventuais irregularidades (agentes de degradação e condições propícias ao seu desenvolvimento, estruturas deficientemente projectadas ou dimensionadas);
- Estimar a resistência e a rigidez dos elementos de madeira;
- Detectar pontos da estrutura que necessitem de reforço ou substituição;
- Registrar a forma, posição e dimensões das zonas e secções críticas;
- Recomendar medidas que impeçam a recorrência dos problemas.

Uma inspecção, seja ela de rotina ou devido à presença de irregularidades evidentes, não deve estar direccionada unicamente para a estrutura principal de madeira. Pelo contrário, deve basear-se numa avaliação global do edifício. Normalmente, sucede que o estado de conservação da madeira reflecte com alguma expressão o estado geral de conservação da construção, contribuindo para realçar os pontos onde existirão deficiências que deverão ser colmatadas, antes de se iniciar qualquer intervenção particular na estrutura de madeira (especialmente as fontes de humidade).

O acesso local a todas as peças de madeira deve ser garantido, para que seja possível a sua observação e a identificação de zonas problemáticas ou que levantem dúvidas quanto à sua estabilidade, como já foi referido.

Deve ser realizada toda uma pesquisa e recolha de informação acerca do historial construtivo do edifício (idade, plantas, alterações, reparações, manutenção), que poderão fornecer uma importante ajuda na interpretação do seu funcionamento estrutural e na caracterização dos materiais e avaliação da sua capacidade resistente (Cruz, 2000) [14].

A determinação da espécie de madeira será um dos primeiros passos a realizar e um dos mais importantes para o processo de avaliação *in situ*, sendo na maioria dos casos uma tarefa difícil de executar por simples observação. Por isso, o classificador deve conhecer as espécies de madeira e possuir alguma experiência como avaliador e inspector de estruturas de madeira.

Considera-se uma zona crítica, a parte de um elemento construtivo que será relevante na fase de diagnóstico, de acordo com os defeitos, a posição, o estado de conservação ou a solicitação estrutural a que está submetido.

#### 3.4.4. AVALIAÇÃO *IN SITU*

Identificadas todas as situações de degradação presentes no edifício, será necessário avaliar a gravidade dos problemas no sentido de estimar a resistência dos elementos estruturais, propondo uma eventual intervenção de correcção, por tratamento, reforço ou substituição.

Esta avaliação dos problemas e da resistência dos materiais passa necessariamente pelos seguintes passos:

- Identificar as causas de degradação e sugerir medidas preventivas;
- Medir o teor de água e atribuir classes de risco a cada elemento;
- Classificar as peças de acordo com a presença de defeitos;
- Identificar a espécie e a qualidade da madeira, conhecer a sua resistência mecânica e atribuir valores de cálculo adequados à verificação da estabilidade e segurança da estrutura;

- Avaliar o estado dos elementos afectados e sua integridade geométrica.

A determinação do valor do teor de água é fundamental, não só devido à sua influência nas características físicas e mecânicas da madeira, mas também para que a madeira seja classificada de acordo com a sua classe de risco, como já foi abordado.

A avaliação deve incidir na identificação do tipo e localização dos principais defeitos das peças, essencial para que esta seja classificada segundo os parâmetros limites definidos. Esta análise de aptidão estrutural será fundamental para se proceder à realização do diagnóstico e consequente proposta de intervenção.

Nesta dissertação, no caso estudado, a avaliação será feita em pavimentos cujos elementos analisados serão vigas em madeira de secção prismática compostas por dois topos (ocultos), duas faces e dois cantos (um dos quais oculto). A secção é definida pela sua altura ( $h$ ) que será dada pela maior das dimensões da mesma e a sua base ( $b$ ) (ou espessura) com menor dimensão. Estas noções estão representadas na Figura 3.7, que representa um esquema de uma viga de madeira.

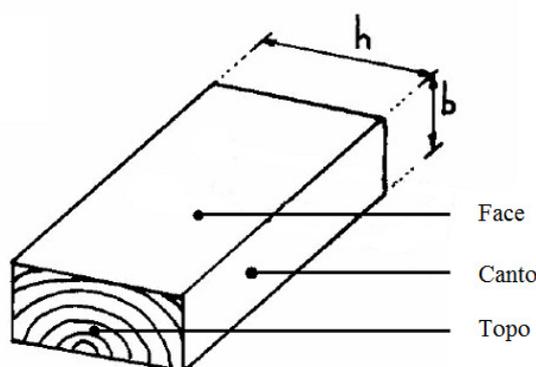


Fig. 3.7 – Esquema de uma viga de madeira (Adaptado de UNE 56544:2003) [52].

### 3.5. CLASSIFICAÇÃO VISUAL DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS POR OBSERVAÇÃO *IN SITU*

#### 3.5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A normalização para classificação de estruturas de madeira existente a nível europeu refere-se geralmente a madeira nova, cuja análise, em situações normais, deverá ser realizada antes da sua colocação em obra.

Em Portugal, existe alguma dificuldade em encontrar regulamentação base que permita a um qualquer profissional delinear uma classificação visual de madeira por observação *in situ*. Assim sendo, neste trabalho, será seguida a proposta desenvolvida por Franco, relativa à metodologia a seguir numa classificação visual de elementos estruturais de madeira resinosa e folhosa em obra (Franco, 2008) [23].

A proposta referida baseou-se nas seguintes quatro normas de classificação visual:

- NP 4305:1995 [42], *Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas. Classificação Visual*;
- UNE 56544:2003 [52], *Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural: madera de coníferas*;

- NF B52-001:1998 [40], *Règles d'utilisation du bois dans les constructions. Classement visuel pour l'emploi en structure des principales essences résineuses et feuillues*;
- U84000420:2003 [51], *Beni culturalli. Manufatti lignei. Strutture portanti degli edifici. Ispezione in situ per la valutazione dello stato di conservazione e la stima delle prestazioni degli elementi in opera*.

Estes documentos abordam na sua maioria regras de medição de defeitos relacionados com espécies resinosas. Realça-se que, quando nos referimos a madeira antiga, serão apenas analisadas as características que sejam possíveis observar e avaliar em obra, uma vez que a sua localização e disposição no local torna esta tarefa muito mais complexa do que a classificação para madeira nova.

Posto isto, a classificação referida considerou quatro defeitos mensuráveis em obra, que são essenciais na avaliação de madeira estrutural *in situ*: os nós, a inclinação do fio, o descaio e as fendas de secagem profunda. Sendo que, para espécies folhosas, se acrescentou a análise de ataques biológicos, por serem mais susceptíveis a estes fenómenos.

O estudo das normas referidas culminou na construção de quadros, que definem não só os valores limite dos defeitos, como também valores de cálculo de algumas propriedades mecânicas, para as madeiras mais utilizadas a nível nacional, nomeadamente, o pinho, o carvalho e o castanho.

Nos próximos pontos deste trabalho serão apresentados, respectivamente, os métodos e critérios de medição de defeitos e os quadros de classificação válidos para aplicação a madeira estrutural avaliada *in situ*.

### 3.5.2. MÉTODO E CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO DE DEFEITOS

#### 3.5.2.1. Medição de Nós

Os diâmetros dos nós são medidos perpendicularmente ao eixo longitudinal da peça (Figura 3.8) e embora nas ilustrações surja a designação “d”, este é designado pela letra grega “Ø” nos quadros da classificação.

A detecção da presença e medição dos nós é realizada para todas as superfícies visíveis do elemento estrutural. A sua avaliação é feita, consoante este se encontre numa face ou num dos cantos da peça estrutural. Para o primeiro caso a avaliação é feita pela relação entre o diâmetro do nó e a altura da peça estrutural ( $d/h$ ); Para o segundo pela relação entre o diâmetro do nó e a base do mesmo ( $d/b$ ).

Devem ser desprezados nós que apresentem um diâmetro inferior a 10 mm.

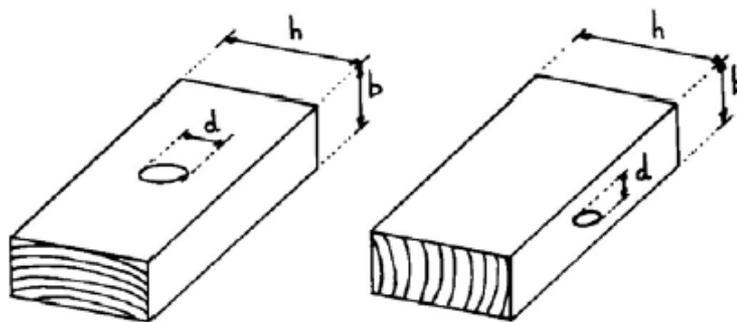


Fig. 3.8 – Critério geral de medição de nós na face e no canto (UNE 56544:2003) [52].

Os nós de aresta são avaliados na face ou canto, onde o corte é mais transversal ao nó (Figura 3.9), optando-se pela relação mais desfavorável em caso de dúvida (Figura 3.10).

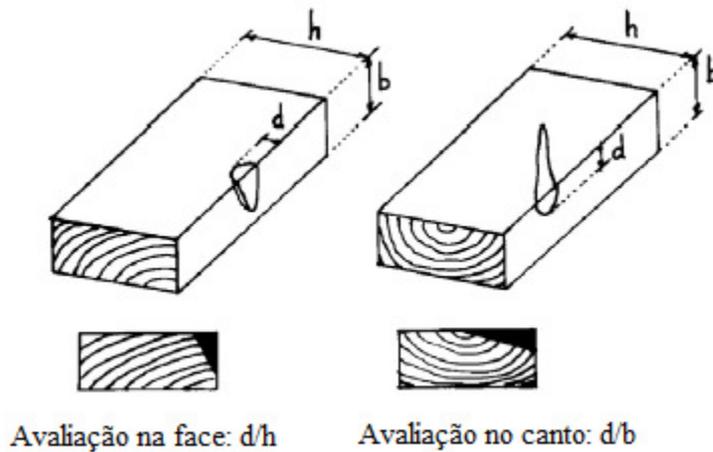


Fig. 3.9 – Critério de medição e avaliação de nós de aresta (UNE 56544:2003) [52].

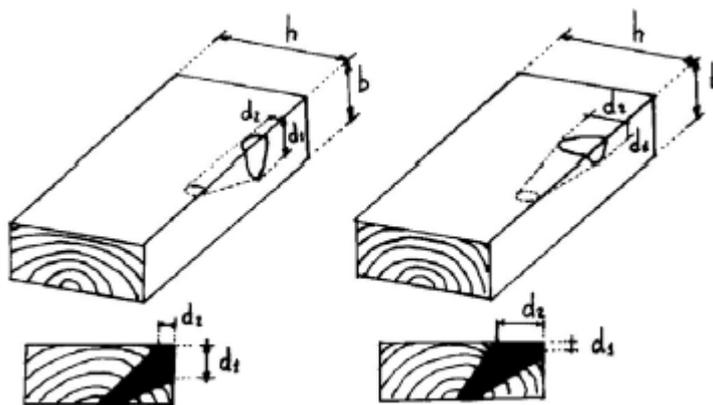
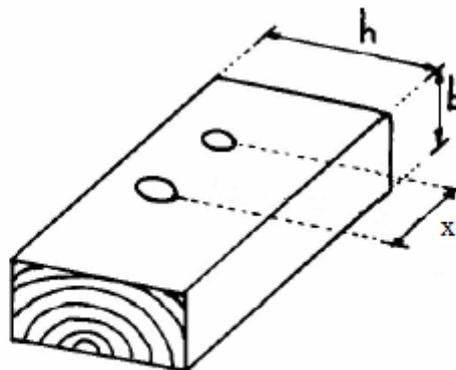


Fig. 3.10 – Critério de medição e avaliação de nós de aresta, em caso de dúvida (UNE 56544:2003) [52].

São considerados nós agrupados, sobre a face ou o canto da peça estrutural, todos os nós cuja distância entre centros (medida segundo o eixo longitudinal do elemento) seja menor ou igual a 150 mm, ou menor ou igual à altura da peça (h), se esta for inferior a 150 mm (Figura 3.11).



Nós agrupados se:  $x \leq 150 \text{ mm}$  para  $h \leq 150 \text{ mm}$ ; e  $x < h$  para  $h < 150 \text{ mm}$ .

Fig. 3.11 – Critério de definição de nós agrupados (UNE 56544:2003) [52].

Os nós agrupados são avaliados pela soma dos seus diâmetros, quando estes não se sobrepõem na direcção perpendicular ao eixo longitudinal da peça. No caso de os nós se encontrarem sobrepostos, a medição deverá ser realizada como se ilustra na Figura 3.12.

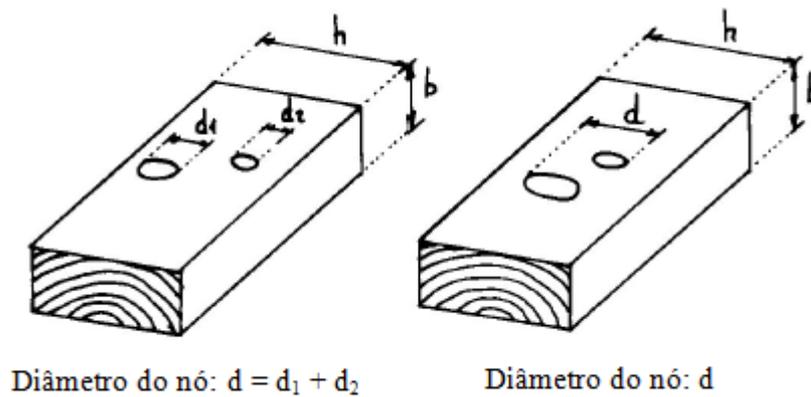


Fig. 3.12 – Critério de medição de nós agrupados (UNE 56544:2003) [52].

### 3.5.2.2. Medição da Inclinação do Fio

A inclinação do fio é determinada pela inclinação das fibras da madeira em relação ao eixo longitudinal do elemento, medida na face ou canto da peça, em zonas onde não existam defeitos que possam desviar localmente as fibras. A distância mínima (AC ou x) a considerar deverá ser de pelo menos 150 mm e o valor da inclinação é dado pelas expressões ilustradas na Figura 3.13. No caso de existirem inclinações distintas na face e no canto do elemento deverá ser considerado o efeito mais desfavorável.

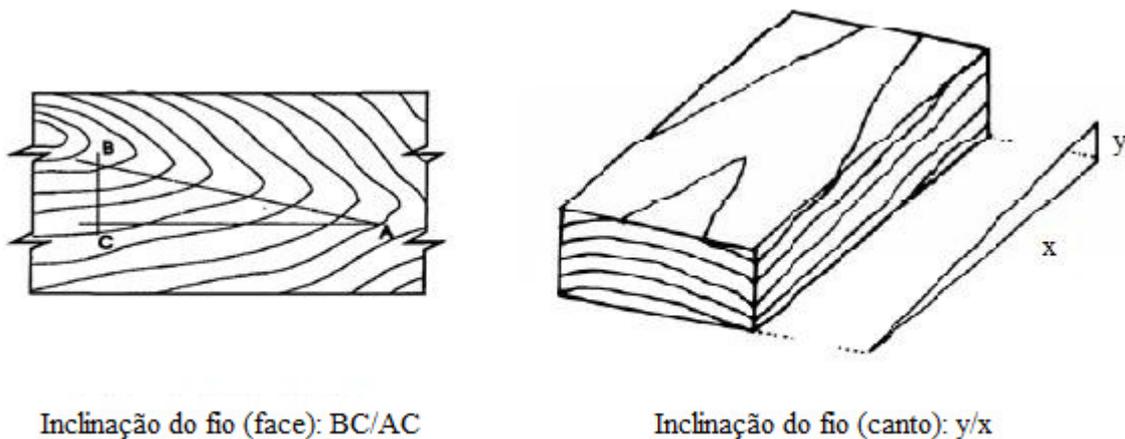


Fig. 3.13 – Medição da inclinação do fio (UNE 56544:2003) [52].

A medição da inclinação das fibras pode ser realizada através da utilização de um simples esquadro ou com a ajuda de um instrumento denominado de riscador. A manivela do riscador deve ser pressionada moderadamente contra a superfície e a agulha existente na sua extremidade deverá ser arrastada na direcção do presumível fio, como está ilustrado na Figura 3.14. Sugere-se a repetição do procedimento para aprimorar o resultado, traçando linhas adjacentes, próximas entre si.

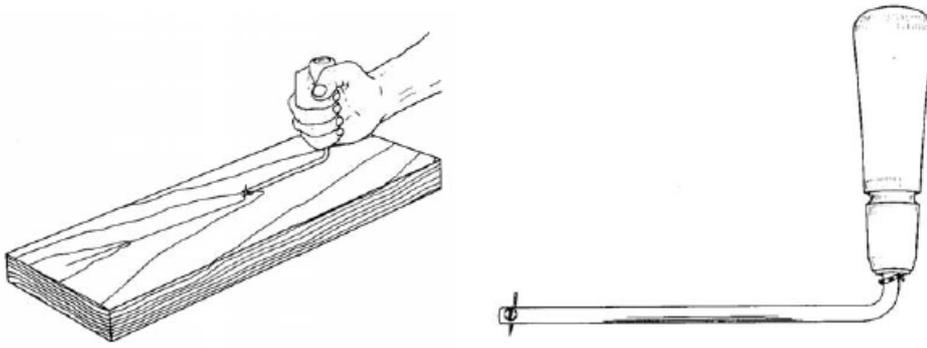


Fig. 3.14 – Modo de utilização do riscador (EN 1310:1997) [33].

### 3.5.2.3. Medição do Descaio

O descaio ( $d$ ) é avaliado pelo máximo resultado entre a relação da dimensão dos catetos do descaio e o valor da dimensão do lado correspondente (Figura 3.15). Em certas situações, também se avalia este parâmetro pela relação entre o comprimento do descaio ( $L_d$ ) e o comprimento total da peça ( $\ell$ ).

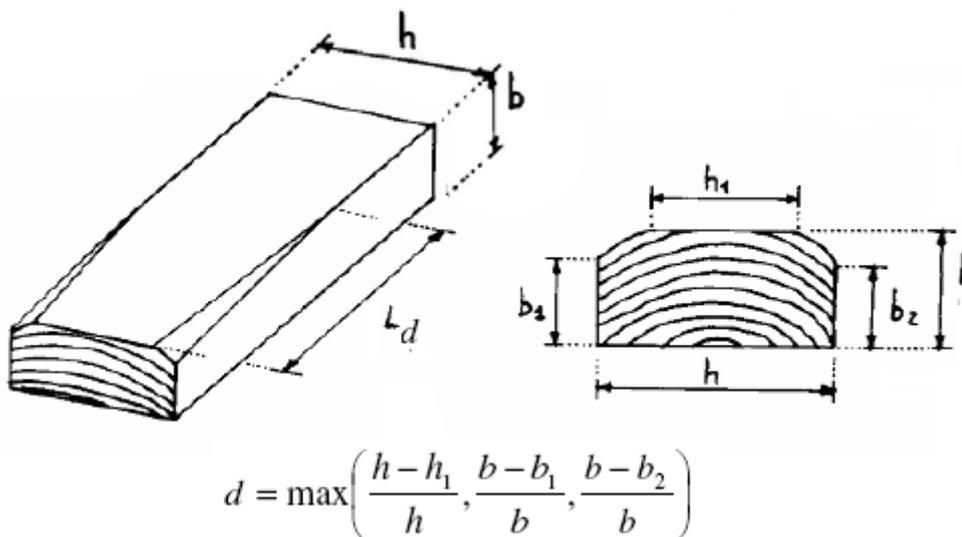


Fig. 3.15 – Medição e avaliação do descaio (Adaptado de UNE 56544:2003) [52].

### 3.5.2.4. Medição de Fendas

O comprimento da fenda ( $L_f$ ) é realizado como se ilustra na Figura 3.16, podendo ser considerado o agrupamento de fendas se estas estiverem sobrepostas. Serão desprezadas fendas cujo comprimento não atinja um metro ou seja inferior a um quarto do comprimento total da peça. O critério desta medição considera ainda desprezáveis lesões ou fendas superficiais existentes nas peças.

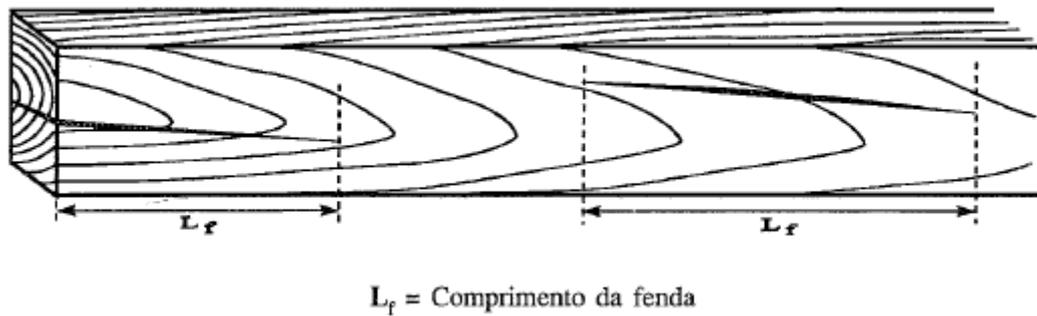


Fig. 3.16 – Medição do comprimento da fenda (Cruz, 1997b) [12].

A análise da profundidade das fendas é tão ou mais relevante que a determinação do seu comprimento. Embora a observação deste defeito seja facilmente observável nos topos dos elementos, este poderá ser inviável, pelo facto de as vigas se encontrarem inseridas nas paredes de alvenaria.

A medição da profundidade da fenda ( $f$ ) é realizada paralelamente à direcção de propagação da fenda, servindo essa direcção para se determinar que superfície servirá de referência à fenda, como ilustra a Figura 3.17a. Deste modo, a avaliação das fendas é efectuada relacionando a sua profundidade com a dimensão do lado da peça a que se refere. No caso de serem observadas fendas sobrepostas (Figura 3.17b) considera-se a profundidade da fenda igual à soma máxima que engloba todas elas.

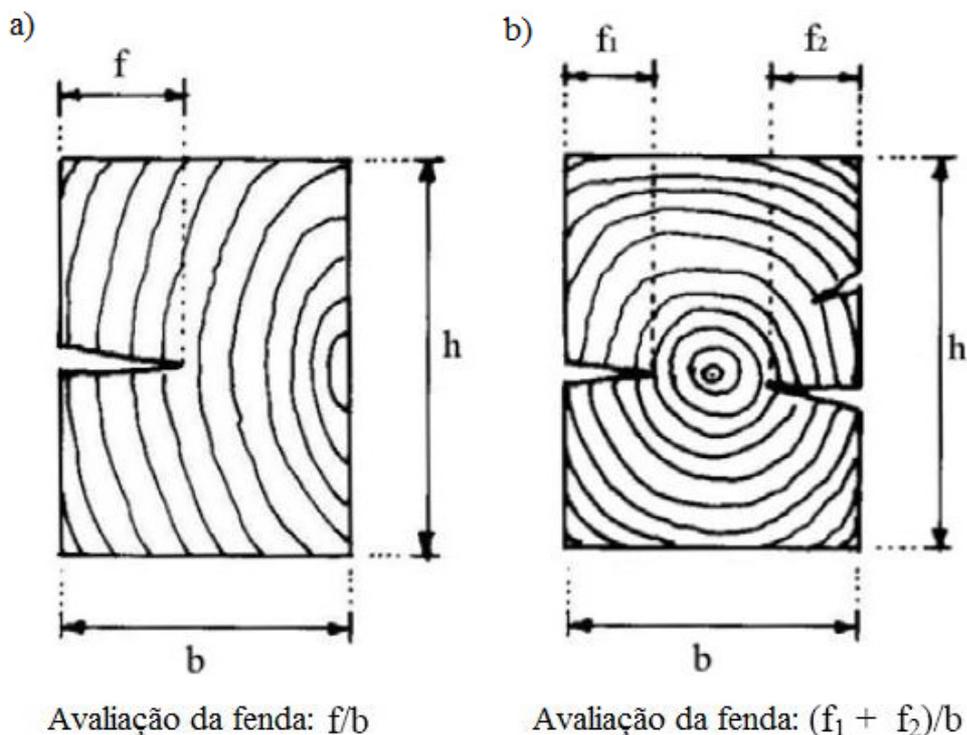
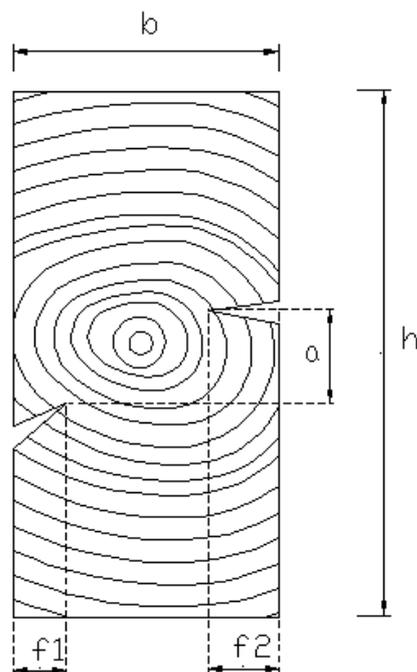


Fig. 3.17 – Critério de medição de fendas (UNE 56544:2003) [52].

Quando se detectam fendas em lados opostos do mesmo elemento estas podem ser repassadas, o que significa que, para que assim possam ser designadas, a distância entre elas (“a”) medida na

perpendicular deve ser inferior ao valor máximo de cada uma das mesmas (Figura 3.18). Se existir uma situação onde este critério não é cumprido poderá, ainda, considerar-se que uma fenda é repassada se o valor da soma da profundidade de ambas for superior a dois terços da face de referência. Os defeitos deste tipo não são admissíveis em estruturas de madeira e a constatação desta situação implica a substituição do elemento ou o seu reforço, quando exequível.

No caso de uma secção apresentar fendas em lados opostos, mas não repassadas, a avaliação é feita através da relação entre a profundidade máxima que engloba as fendas em cada face com a dimensão da face de referência (Figura 3.17b).



Fendas não repassadas se:  $a \geq \max(f_1, f_2)$ ; e/ou  $(f_1 + f_2) \leq 2/3 b$

Fig. 3.18 – Critério de determinação de fendas repassadas (Franco, 2008) [23].

O fenómeno de fendas repassadas é facilmente observável no topo das vigas mas, como já foi referido, a sua observação pode ser impossível. No caso de haver suspeita da existência de fendas repassadas, dependerá do classificador recorrer a outras metodologias, além da inspeção visual, para corroborar essa conjectura.

### 3.5.3. CLASSIFICAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS POR OBSERVAÇÃO *IN SITU*

Antes de se passar à apresentação dos elementos que vão permitir classificar as peças de madeira, importa realçar que se trata de uma avaliação por observação, não estando previstas quaisquer utilizações de aparelhos de medição ou análise, ou mesmo ensaios não destrutivos. No entanto, não deverá ser posta de parte a utilização desse tipo de metodologia pelo classificador, uma vez que a medição de qualquer valor essencial para uma classificação específica pode ser benéfica, como por exemplo, o teor de água. Mais uma vez, o recurso a metodologias de análise não destrutiva permite comprovar a avaliação feita visualmente, assim como obter resultados mais objectivos e fiáveis.

Os valores incluídos nos quadros apresentados nos próximos pontos referem-se à metodologia de medição de defeitos explicada em 3.5.2. e representam os limites impostos pela classificação visual. A

avaliação culmina com a atribuição de uma classe de “Aprovada”, se a peça analisada cumpre todos os limites impostos nos quadros referidos, ou “Rejeitada”, caso viole pelo menos um deles.

### 3.5.3.1. Classificação para Madeira de Pinho

A classificação apresentada no Quadro 3.7 foi baseada em normas relativas a madeira de pinho e, por esse motivo, apenas é válida para elementos estruturais desta espécie.

Quadro 3.7 – Classificação visual *in situ* para madeira de pinho (Franco, 2008) [23].

Defeito		- Categoria em Obra - APROVADA			
Nós	Isolados	$\varnothing > 10 \text{ mm}$ e $\varnothing \leq 1/2$ (b e/ou h)			
	Agrupados	$\varnothing \leq 3/4$ (b e/ou h)			
Descaio		$d \leq 1/3$			
Inclinação do Fio		$i \leq 1/3$			
		$L_f \geq \min (L/4 ; 1 \text{ m})$			
Fendas profundas de secagem	Não Repassadas	$f \leq 3/5$			
	Repassadas	$a \geq \max (f_1, f_2)$ e/ou $(f_1+f_2) \leq 2/3 b$			
$\varnothing$	Diâmetro do nó	d	Descaio	L	Comprimento da peça
b	Espessura da peça	i	Inclinação do fio	f	Profundidade da fenda
h	Altura da peça	$L_f$	Comprimento da fenda		

### 3.5.3.2. Classificação para Madeira de Carvalho e Castanho

A classificação apresentada no Quadro 3.8 refere-se a madeira de carvalho e castanho. Neste caso, foram incluídos dois parâmetros, comparando com o anterior quadro relativo a resinosas, os ataques biológicos (devido à susceptibilidade destas espécies a este fenómeno) e a massa volúmica.

Quadro 3.8 – Classificação visual *in situ* para madeira de carvalho e castanho (Franco, 2008) [23].

Defeito		- Categoria em Obra - APROVADA			
Nós		$10 < \varnothing \leq 40$ (mm)			
Descaio		$L_d < 33\%$ de L e $L_d < 100 \text{ cm}$			
Inclinação do Fio		$i \leq 20\%$			
		$L_f \geq \min (L/4 ; 1 \text{ m})$			
Fendas profundas de secagem	Não repassadas	$f \leq 3/5$ (b ou h)			
	Repassadas	$a \geq \max (f_1, f_2)$ e /ou $(f_1+f_2) \leq 2/3 b$			
Alterações biológicas		Caruncho - Admissível (se inactivo) Fungos podridão - Admissível (se inactivo)			
Massa volúmica a 12% ( $\text{kg/m}^3$ )		Carvalho $\geq 600$	Castanho $\geq 500$		
$\varnothing$	Diâmetro do nó	d	Descaio	L	Comprimento da peça
b	Espessura da peça	i	Inclinação do fio	f	Profundidade da fenda
h	Altura da peça	$L_f$	Comprimento da fenda		

Realça-se a importância de os ataques bióticos estarem completamente inactivos e de se proceder à verificação da estabilidade estrutural das secções afectadas.

### 3.5.3.3. Valores de Cálculo

As propriedades mecânicas consideradas nesta metodologia são as seguintes:

- Módulo de elasticidade na direcção do fio ( $E_m$ );
- Resistência característica à flexão na direcção do fio ( $f_{m,k}$ );
- Resistência característica à compressão na direcção do fio ( $f_{c,0,k}$ );
- Resistência característica à tracção na direcção do fio ( $f_{t,0,k}$ );

e admitiram-se para cada uma destas características, as seguintes considerações:

$$\left\{ \begin{array}{l} E_m = 0,8 \times E_{0,mean} \text{ (classe de resistência D30 ou C18 da NP EN 338)} \quad [kN/mm^2] \\ f_{m,k} = 0,7 \times f_{m,k} \text{ (classe de resistência D30 da NP EN 338)} \quad [N/mm^2] \\ f_{m,k} = 0,8 \times f_{m,k} \text{ (classe de resistência C18 da NP EN 338)} \quad [N/mm^2] \\ f_{c,0,k} = 0,9 \times f_{c,0,k} \text{ (classe de resistência D30 ou C18 da NP EN 338)} \quad [N/mm^2] \\ f_{t,0,k} = 0,8 \times f_{t,0,k} \text{ (classe de resistência D30 ou C18 da NP EN 338)} \quad [N/mm^2] \end{array} \right.$$

Os quadros seguintes apresentam os valores de cálculo a considerar no caso de as vigas serem classificadas como aprovadas por classificação visual respectivamente para pinho (Quadro 3.9) e para carvalho e castanho (Quadro 3.10).

Quadro 3.9 – Valores de cálculo para madeira de pinho (Franco, 2008) [23].

Valores de Cálculo		
Pinho <i>in situ</i> - Vigas Aprovadas		
$E_{mean}$	Módulo de elasticidade médio	7,2 kN/mm <sup>2</sup>
$f_{m,k}$	Resistência característica à flexão	14,4 N/mm <sup>2</sup>
$f_{c,0,k}$	Resistência característica à compressão paralela ao fio	16,2 N/mm <sup>2</sup>
$f_{t,0,k}$	Resistência característica à tracção paralela ao fio	8,8 N/mm <sup>2</sup>

Quadro 3.10 – Valores de cálculo para madeira de carvalho e castanho (Franco, 2008) [23].

Valores de Cálculo		
Carvalho e Castanho <i>in situ</i> - Vigas Aprovadas		
$E_{\text{mean}}$	Módulo de elasticidade médio	8,0 kN/mm <sup>2</sup>
$f_{m,k}$	Resistência característica à flexão	21,0 N/mm <sup>2</sup>
$f_{c,0,k}$	Resistência característica à compressão paralela ao fio	20,7N/mm <sup>2</sup>
$f_{t,0,k}$	Resistência característica à tracção paralela ao fio	14,4 N/mm <sup>2</sup>



# 4

## VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO. ESTUDO DE CASO

### 4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo descreve-se um caso prático de estudo, realizado pelo Autor, que se refere à inspecção, diagnóstico, classificação de vigas de madeira e proposta de intervenção em elementos estruturais de um edifício inserido no Centro Histórico do Porto. Esta construção está implantada na zona do Largo dos Lóios, cujo processo de consolidação urbana foi concluído no início do séc. XIX.

No edifício em estudo, estão a decorrer obras de reabilitação para que este imóvel possa responder eficazmente às necessidades actuais, enriquecendo os espaços com melhores condições de conforto, anteriormente não exigidas, nomeadamente a nível acústico, térmico e estrutural. Esta construção estará destinada, tal como na sua funcionalidade original, aos usos de comércio e habitação.

A reabilitação de um edifício é, cada vez mais, vista como uma forma de preservar o património construtivo existente, através da conservação das características estéticas e dos principais elementos particulares a cada caso que mais contribuem para a preservação da alma da própria construção.

Neste contexto, um processo deste tipo não se limita apenas a preservar e dar nova vida às fachadas dos edifícios, mas também averigua a possibilidade de perpetuar (substituindo ou reforçando) os elementos estruturais de madeira e paredes em alvenaria de pedra, procurando aplicar as tecnologias construtivas actuais e, ainda, introduzir todas as instalações comuns (projecto que se mostra de grande complexidade, porque é necessário conjugar de forma eficiente a implantação das instalações atendendo à realidade construtiva do edifício, ou seja, conjugar a organização dos espaços, zonas húmidas e sistemas construtivos originais, entre outros problemas que é necessário resolver em processo de reabilitação).

A procura do conhecimento histórico destas construções, aliado à experiência construtiva actual, permite valorizar não só os próprios imóveis como a sua envolvente e manter a identidade e magnificência construtiva das cidades.

Genericamente, um dos principais problemas das construções novas e antigas, onde existem elementos estruturais de madeira, reside na ideia de que este material necessita de elevada manutenção periódica e não é tão eficiente como outros materiais, nomeadamente o betão armado e o aço. Na realidade, a madeira é um material muito resistente e pode ser bastante duradouro sendo, no entanto, fundamental projectar as estruturas de forma preventiva, ou seja, garantindo condições de não exposição a humidades e diminuindo a probabilidade de ataques bióticos, para reduzir os riscos e evitar o

aparecimento de anomalias. De facto, existem edifícios construídos em madeira que se mantêm em bom estado há centenas de anos e a sua manutenção terá sido bastante reduzida ao longo da sua vida em serviço.

Através da apresentação do trabalho desenvolvido no edifício em estudo, pretende-se fomentar a procura de metodologias construtivas tradicionais de reabilitação que, cada vez mais, se baseiam no restauro, no reforço e, em último caso, na substituição dos elementos de madeira existentes em edifícios antigos.

A metodologia geral aplicada a este caso de estudo pode dividir-se nos seguintes três pontos essenciais:

- Inspeção inicial: que consistiu num levantamento estrutural dos elementos de madeira dos pavimentos e escadas do edifício e na elaboração de plantas estruturais dos mesmos;
- Avaliação: onde foram analisados os problemas existentes e as suas causas, procedeu-se à classificação visual por observação *in situ* de um dos pavimentos, com base na proposta desenvolvida por (Franco, 2008) [23], com o objectivo de validar a segurança estrutural dos seus componentes;
- Proposta de intervenção: depois de diagnosticados os principais problemas, descrevem-se propostas de solução de reforço estrutural para os pavimentos e para as escadas.

## 4.2. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO. ENQUADRAMENTO LOCAL. ARQUITECTURA

### 4.2.1. INFORMAÇÕES GERAIS

O edifício em estudo situa-se no Largo dos Lóios, na cidade do Porto e é constituído pelas parcelas n.ºs 59, 59A e 59B (Figura 4.1). Através das suas características arquitectónicas e construtivas poderá inferir-se que terá sido erguido em meados do séc. XIX.

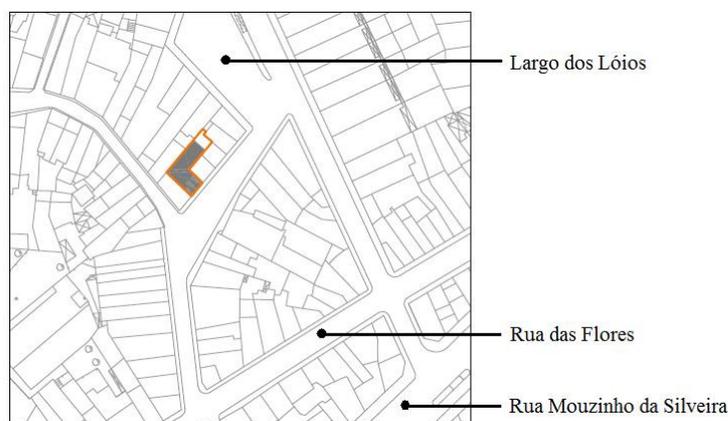


Fig. 4.1 – Planta de localização do edifício em estudo (Adaptado de Floret, 2007) [71].

Trata-se de um imóvel cuja configuração e funções seguiam a corrente construtiva semelhante ao que pode ser observado na sua envolvente, que era a tipologia característica da época, consistindo em edifícios altos, de frentes estreitas, sem lugares de estacionamento, destinados ao comércio e à habitação. No caso em apreço, a construção estaria vocacionada, no rés-do-chão, para o comércio tradicional (venda a retalho) e, nos três restantes pisos, para habitação (incluindo mais um piso recuado, resultante de um acréscimo ao 3.º andar, ou seja, um aproveitamento da cobertura,

normalmente designado de trapeira). Aparentemente, o 1º e 2º andares, terão funcionado, mais recentemente, como anexos do espaço de comércio: armazém e escritório, respectivamente.

O prédio é composto por duas frentes (Figuras 4.2 e 4.3), apresentando em planta uma configuração em forma de “L”, possuindo uma única serventia de acesso, pelo Largo dos Lóios, com três entradas: duas delas, servindo directamente o comércio no rés-do-chão e, a sobranse, os pisos superiores de habitação, ficando todas juntas ao nível do rés-do-chão (Figura 4.3). A sua outra frente encontra-se orientada para a zona de tardoz do edifício adjacente, constituindo o acesso a um pequeno espaço de logradouro (que se encontrava ocupado por uma ampliação), o que representa uma variante neste tipo de construções.



Fig. 4.2 – Alçado principal e alçado lateral direito (Floret, 2007) [71].



Fig. 4.3 – Fachada principal.

De referir, ainda, que esta zona é caracterizada, tal como a restante Baixa Portuense, pelas suas ruas estreitas e sinuosas, que complicam o tráfego automóvel, com poucos lugares de estacionamento público, pagos ou inexistentes.

Realça-se que o projecto de reabilitação se encontra em fase de licenciamento e não altera a leitura da fachada, pretendendo manter o máximo do edificado existente, incluindo os elementos em madeira, desde as escadas originais a todos os vigamentos que estiverem em boas condições.

#### 4.2.2. DESCRIÇÃO ARQUITECTÓNICA

No momento em que foi iniciada a análise deste edifício, todas as paredes não construtivas, que serviam de compartimentação aos espaços outrora existentes, já tinham sido demolidas, tal como outros elementos que se referem na descrição estrutural. Assim sendo, a descrição efectuada neste ponto do trabalho abordará a arquitectura do edifício ao nível do projecto proposto para esta reabilitação.

A planta do edifício apresenta a forma em “L”, como referido, estando organizada de forma muito simples. O corpo principal, ao qual pertence a frente, com acesso directo ao Largo dos Lóios, tem 5,5 m de largura de fachada e 6,0 m de profundidade. Encostada à parede posterior e no prolongamento do corpo principal encontra-se a caixa de escadas, com 3,0 por 3,2 m de lado. O segundo corpo desenvolve-se perpendicularmente ao primeiro, estando orientado para o espaço de logradouro e tem cerca de 7,0 m de comprimento e 4,0 m de largura.

A nova arquitectura proposta para esta construção não irá alterar as funções originais do edifício, ou seja, manter-se-á o uso para comércio no rés-do-chão e o uso para habitação nos pisos superiores. O projecto de arquitectura pode ser dividido em rés-do-chão, pisos 1 e 2 e, ainda, piso 3.

O rés-do-chão foi concebido de forma a ser compatível com variados usos, podendo a sua função respeitar desde as necessidades de um local de venda a retalho, até às exigências de um estabelecimento de bebidas. Além do espaço para comércio, com acesso directo à rua, contém a entrada independente para os pisos superiores (que é feita através de escadas) e a ligação ao logradouro, que foi restabelecida (Figura 4.4).

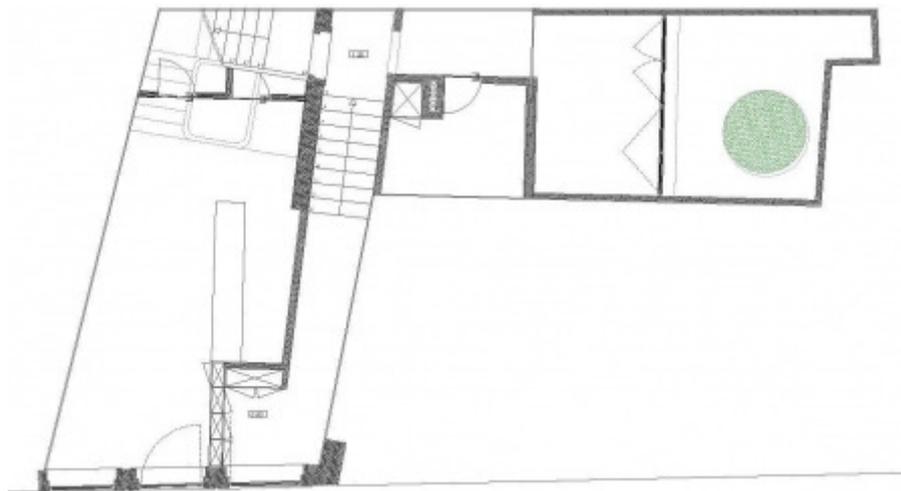


Fig. 4.4 – Planta do rés-do-chão (Floret, 2007) [71].

Os pisos 1 e 2 têm desenho e organização dos espaços semelhantes (Figura 4.5). Ambos são apartamentos da tipologia T1 e constituídos por um quarto (orientado para a zona de logradouro), uma sala dotada com cozinha e uma instalação sanitária completa.

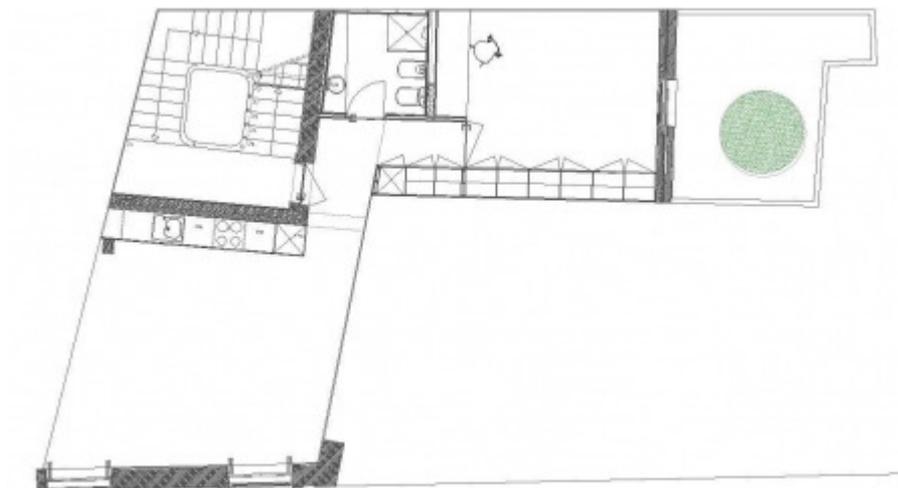


Fig. 4.5 – Planta dos pisos 1 e 2 (Floret, 2007) [71].

O piso 3 será um apartamento da tipologia T1+1, formando um duplex, ou seja, ocupará o 3º andar do edifício (Figura 4.6) e o 4º andar correspondente ao piso recuado (antiga trapeira existente na cobertura – Figura 4.7). O piso inferior do duplex (3º andar), será composto por uma sala comum, uma cozinha independente e uma instalação sanitária de serviço. O piso superior (4º andar), constitui um aproveitamento das águas furtadas e contém um quarto, um espaço para um quarto pequeno ou possível escritório (orientado para a zona de logradouro) e, também, uma instalação sanitária completa (Figura 4.7).

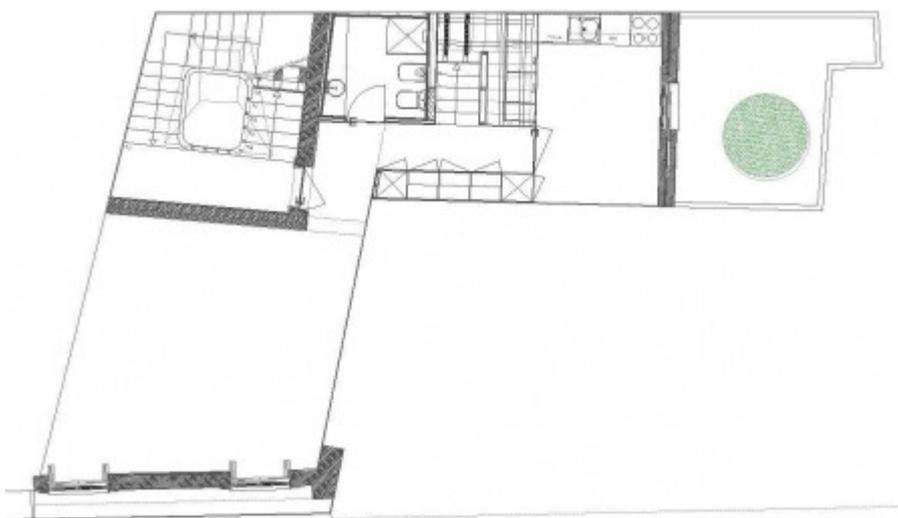


Fig. 4.6 – Planta do piso 3 (Floret, 2007) [71].

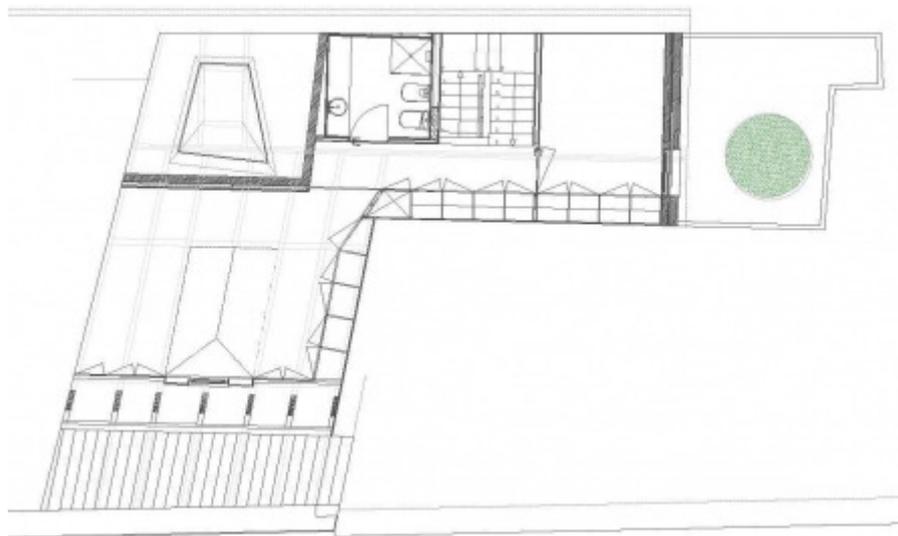


Fig. 4.7 – Planta do piso recuado (Floret, 2007) [71].

A escada em madeira, que permite o acesso aos pisos superiores, será preservada, mantendo-se o seu desenho e restaurando-se o corrimão original. Todo o processo de restauro passará por aproveitar o máximo de elementos em bom estado e substituir os degradados por peças idênticas.

A iluminação natural da escada será assegurada por uma clarabóia, que havia sido eliminada pela construção da trapeira, restituindo-se ao edifício este elemento tão característico da arquitectura das habitações portuenses. A clarabóia, que em projecto possuía um desenho contemporâneo, acabou por ser concretizada em obra com uma geometria rectangular de menor dimensão.

Relativamente à arquitectura das frentes do edifício, a fachada principal será mantida, enquanto a fachada lateral terá novo desenho, uma vez que se encontrava bastante degradada e toda essa zona sofreu ampliações e alterações estruturais.

O projecto de arquitectura previsto para o edifício em estudo foi remetido para anexo (Anexo A1) onde é possível consultar com maior detalhe as plantas, alçados e cortes da nova construção.

#### 4.2.3. DESCRIÇÃO ESTRUTURAL

A descrição estrutural deste prédio passará sobretudo pela explicação do sistema construtivo do edifício em estudo, que é constituído, resumidamente, por:

- Elementos verticais de suporte: paredes autoportantes em alvenaria de pedra (granito);
- Elementos horizontais de suporte: todos os pavimentos existentes são em estrutura de madeira, composta por vigamento e tarugos revestidos por soalho;
- Outros elementos verticais: escadas de bomba de lanços perpendiculares entre si, com um par de patamares intermédios por piso;
- Cobertura: sistema estrutural de duas águas, cuja constituição é realizada por vigamento principal em madeira, no qual assenta um telhado tradicional em telha cerâmica.

O edifício apresenta paredes resistentes em alvenaria de pedra (Figura 4.8) em todo o seu perímetro (com espessuras que vão desde os 24 cm para paredes de empena laterais e posterior, a 17 cm para paredes que separam o corpo principal e caixa de escadas, do corpo secundário), com excepção de um

pequeno troço do corpo secundário, onde se observou a existência de construção em taipa de rodízio (Figura 4.9). As paredes desenvolvem-se, deste modo, a toda a altura do prédio. As paredes interiores aparentam ser de tabique simples: tábuas verticais de madeira corrente com fasquiado horizontal, reboco tradicional e acabamento estucado.



Fig. 4.8 – Mostra geral das paredes em alvenaria de pedra (granito) do rés-do-chão.



Fig. 4.9 – Paredes em taipa de rodízio (Diário de Obra, 2009) [57].

Os pavimentos existentes são constituídos por vigamento, tarugo e soalho de madeira (Figuras 4.10 e 4.11). O vigamento é sobretudo composto por vigas de madeira na forma serrada, existindo algumas vigas no rés-do-chão na forma redonda. A disposição das mesmas desenvolve-se paralelamente à parede da fachada principal, com entregas apoiadas nas paredes laterais. O espaçamento das vigas é variável (cerca de 40 a 65 cm) tal como as secções das vigas: podem apresentar no rés-do-chão secções circulares de 17 a 27 cm de diâmetro, para madeira na forma redonda e secções quadrangulares ou rectangulares de 10 a 17 cm de lado para madeira na forma serrada; para os restantes pisos, as vigas de madeira apresentam-se na forma serrada, com geometria rectangular de secção com 8 cm de base e 22,5 cm de altura (Figuras 4.12 e 4.13). O tarugamento é simples e feito com peças irregulares (quadrangulares), com comprimento ajustado ao espaçamento entre vigas. O soalho desenvolve-se perpendicularmente ao vigamento e é constituído por pranchas de madeira justapostas, simplesmente encostadas entre si. Os pavimentos, na sua zona inferior, são revestidos por estuque fasquiado.

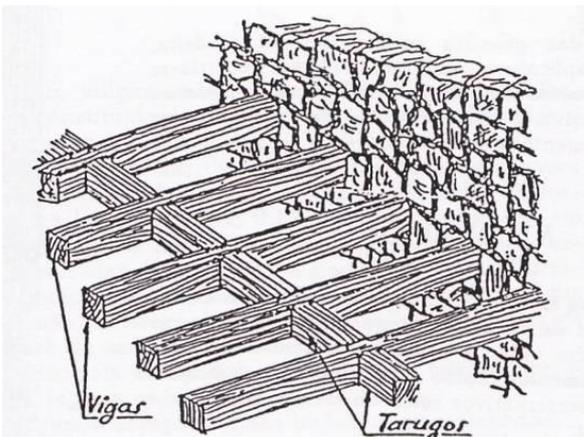


Fig. 4.10 – Esquema estrutural tipo dos pavimentos (Costa, 1955) [8].



Fig. 4.11 – Exemplo da entrega das vigas dos pavimentos às paredes de granito (pisos inferiores).



Fig. 4.12 – Pavimento do piso 2 (tecto do 1º andar).



Fig. 4.13 – Pavimento do piso 3 (tecto do 2º andar).

De referir que, no rés-do-chão pode ser observado que algumas das vigas (que se designaram de secundárias) do pavimento do piso 1, como se pode ver na Figura 4.14, não perfazem todo o vão, sendo interrompidas por cadeias que assentam em vigas principais (Figura 4.15), as quais, por sua vez, apoiam nas paredes laterais (estrutura originalmente mal concebida, analisada com maior pormenor no ponto 4.3).



Fig. 4.14 – Pavimento do piso 1 (tecto do rés-do-chão).



Fig. 4.15 – Pormenor do pavimento do piso 1 (tecto do rés-do-chão).

As escadas em madeira são do tipo de lanços perpendiculares entre si (escadas de bomba), com patamares intermédios entre os vários lanços (patins de volta), culminando em patamares de piso (Figura 4.16 e 4.17).

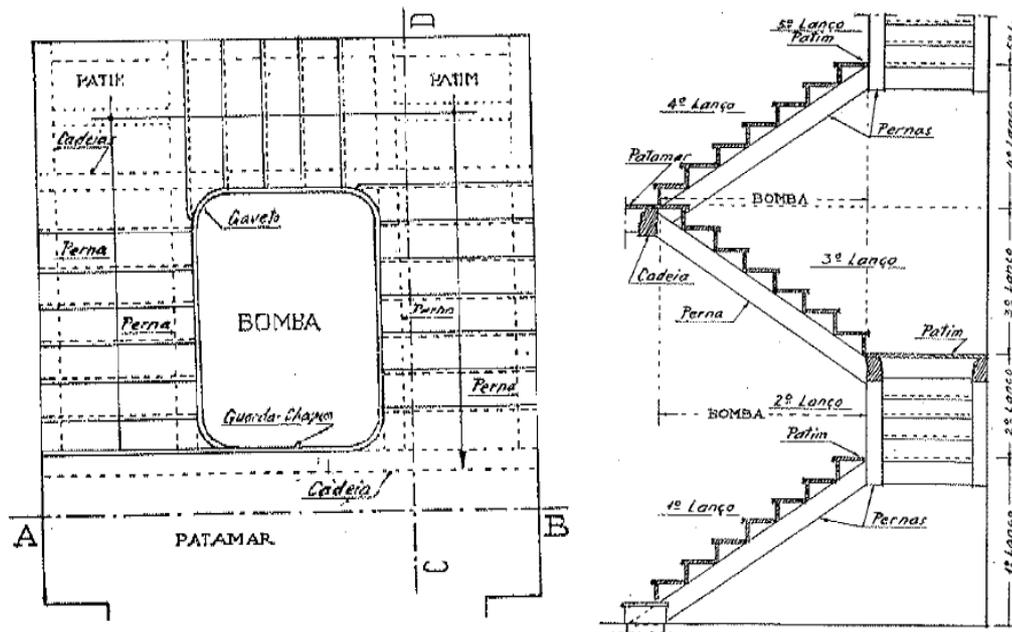


Fig. 4.16 – Planta e corte longitudinal tipo da escada (Costa, 1955) [8].



Fig. 4.17 – Aspecto geral das escadas.



Fig. 4.18 – Pormenor de patim (patamar intermédio).

Os patins (patamares intermédios, Figura 4.18), são suportados por duas vigas em consola, encastradas nas paredes de alvenaria (cadeias), que por sua vez sustentam e dão suporte às pernas dos lanços das escadas (três pernas por lanço, com secção quadrangular de 10 cm de lado, paralelas entre si e afastadas de cerca de 30 cm). Os patamares de piso, aonde chegam ou donde arrancam os lanços de escadas, são suportados por duas vigas, que fazem a ponte entre o pavimento principal e a caixa de escadas. Ao nível dos pisos, a viga mais próxima da bomba da escada é que tem a função de suporte principal da escadaria, enquanto a outra auxilia em menor escala a sua estabilidade, através da transmissão de esforços realizada por vigas existentes entre ambas, com afastamento de cerca de 50 cm. Os patamares, assim como os espelhos e cobertores, são revestidos por soalho de madeira. O guarda corpos é constituído por prumos e corrimão em madeira trabalhada. Inferiormente, os lanços e os patamares são revestidos por estuque fasquiado, à semelhança dos pavimentos.

Na Figura 4.19, está representada a cobertura do corpo principal, que é composta por duas águas simples, suportadas por madres de madeira, apoiadas nas paredes de alvenaria em pedra. Sobre as madres, desenvolve-se uma estrutura de madeira secundária, constituída por varas (de geometria

irregular e paralelas às paredes laterais do edifício) e ripas (dispostas perpendicularmente às varas), que suportam o revestimento em telha cerâmica do tipo Marselha. Numa das águas da cobertura, nomeadamente na pendente direccionada para a fachada principal, foi construída uma trapeira semelhante à apresentada na Figura 4.21, fruto de uma ampliação do piso 3, mas neste caso a trapeira é recuada relativamente à fachada. Por este motivo, foi construído um quarto pavimento que, simultaneamente, servia de tecto ao piso 3 e complementava o escoamento de águas da cobertura (Figura 4.20). Tanto o novo pavimento, como a cobertura, possuíam, na sua zona inferior, revestimento de estuque fasquiado.



Fig. 4.19 – Cobertura do corpo principal.



Fig. 4.20 – Tecto do piso 3 (pavimento da trapeira).

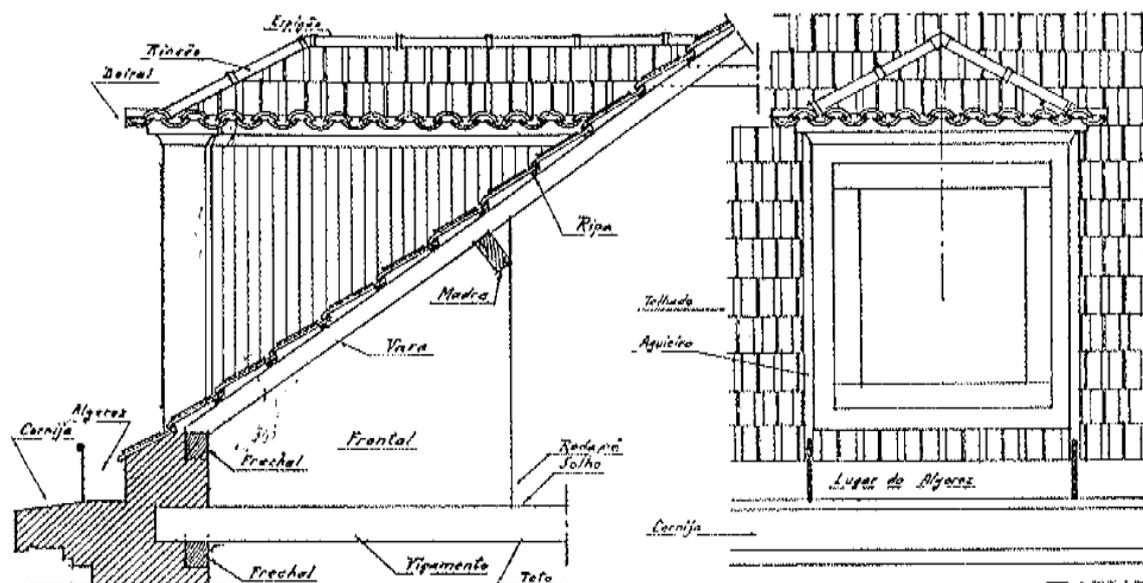


Fig. 4.21 – Lado e alçado tipo da trapeira (Costa, 1955) [8].

Os objectivos da reabilitação deste edifício passam pelo máximo aproveitamento dos elementos construtivos em madeira que se encontrem em bom estado de conservação, desde as escadas aos vigamentos dos pavimentos, tendo tal sido tomado em consideração na fase de desenvolvimento do projecto de arquitectura.

### 4.3. INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA: LEVANTAMENTO

#### 4.3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nesta parte do estudo, dá-se ênfase particular a todas as estruturas existentes em madeira, tendo como objectivos principais: efectuar um levantamento geométrico de todos os elementos e produzir plantas estruturais; realizar uma inspecção inicial das peças, identificando os problemas existentes, assim como as zonas críticas das estruturas; produzir um diagnóstico simplificado que identifique que peças deverão ser aproveitadas, substituídas ou reforçadas, servindo de base para a proposta de intervenção em elementos estruturais, apresentada em 4.5.

Os principais elementos em madeira identificados neste edifício incluem: os pavimentos, as escadas e a cobertura. A inspecção dos pavimentos foi facilitada, uma vez que o soalho existente apresentava ataques de caruncho e, por isso, a arquitectura optou pela solução de substituí-lo integralmente por peças novas. No corpo secundário, por decisão de projecto, foram demolidas todas as estruturas interiores, nomeadamente os pavimentos e escadas existentes em madeira, por se ter optado por uma solução de estrutura reticulada de betão armado com pavimentos em laje aligeirada, permanecendo apenas as paredes de alvenaria em pedra da estrutura inicial. Não foi realizado o levantamento estrutural e inspecção do piso do andar recuado e da cobertura, porque estes vão ser totalmente remodelados, em virtude das alterações arquitectónicas propostas e pelo facto do projecto de arquitectura incluir a reconstrução da clarabóia sobre a caixa de escadas. Para as escadas e pavimentos restantes, foram elaboradas plantas estruturais esquemáticas, após a realização de um levantamento geométrico global.

De salientar que, para se reunirem as condições adequadas para a realização de uma inspecção, foi executada uma complexa limpeza geral do edifício ao nível do seu conteúdo, nomeadamente do entulho e mobiliário degradado. Esta operação foi dificultada pela mobilidade reduzida do local, sobretudo pela forma como foi possível a retirada de todos estes elementos, decorrendo nesta situação através da caixa de escadas e à força de homem.

#### 4.3.2. LEVANTAMENTO GEOMÉTRICO

Como já foi dito, desenvolveu-se uma caracterização das estruturas dos pavimentos e das escadas em madeira, sendo que, para tal, se realizou um levantamento geométrico, fotográfico e dos problemas existentes (ver 4.3.3) nos referidos elementos estruturais. Relativamente ao levantamento fotográfico, grande parte da recolha de informação visual foi já apresentada na descrição estrutural (ver 4.2.3).

Neste contexto, apresenta-se de seguida o trabalho que foi realizado em relação ao levantamento geométrico das vigas dos pavimentos: do piso 1 (Figura 4.22), do piso 2 (Figura 4.23) e do piso 3 (Figura 4.24), sendo que este último é melhor analisado no ponto 4.4 deste trabalho. A nomenclatura utilizada para identificar as vigas dos pavimentos foi a seguinte: cadeias -  $C_i$ , vigas da caixa de escadas -  $VE_i$ , vigas principais -  $VP_i$ , vigas principais da caixa de escadas -  $VPE_i$ , e vigas secundárias -  $VS_i$ .



Fig. 4.22 – Planta estrutural do pavimento do piso 1 (tecto do rés-do-chão).



Fig. 4.23 – Planta estrutural do pavimento do piso 2 (tecto 1º Andar).



Fig. 4.24 – Planta estrutural do pavimento do piso 3 (tecto 2º Andar).

Para os pavimentos 1 e 3 foram ainda recolhidas informações relativas à geometria da maioria das vigas existentes. Para o piso 1 apresentam-se de seguida os quadros que resumem esta informação (Quadros 4.1 a 4.4). Para o piso 3, esses dados apresentam-se no ponto 4.4.3, onde se trata da classificação visual das vigas principais do mesmo.

Quadro 4.1 – Dimensões das VPE's do pavimento do piso 1 (ver Figura 4.22).

Viga principal da caixa de escadas	Secção (b x h) [cm <sup>2</sup> ]	Comprimento ( $\ell$ ) [m]
VPE1	22,0 x 25,0	3,70
VPE2	18,0 x 18,0	3,70

Quadro 4.2 – Dimensões das VP's do pavimento do piso 1 (ver Figura 4.22).

Viga principal	Secção ( $\emptyset$ ) [cm]	Comprimento ( $\ell$ ) [m]
VP1	22,0	5,45
VP2	25,0	5,38
VP3	27,0	5,30

Quadro 4.3 – Dimensões das VS's do pavimento do piso 1 (ver Figura 4.22).

Viga secundária	Secção (b x h) [cm <sup>2</sup> ]	Comprimento ( $\ell$ ) [m]
VS1	10,0 x 12,0	4,72
VS2	10,0 x 12,0	4,70
VS3	10,0 x 12,0	4,63
VS4	12,0 x 17,0	4,58
VS5	10,0 x 10,0	4,52
VS6	12,0 x 14,0	4,48
VS7	10,0 x 10,0	0,70
VS8	10,0 x 12,0	0,70
VS9	12,0 x 10,0	0,72
VS10	10,0 x 12,0	0,74
VS11	10,0 x 10,0	0,75
VS12	14,0 x 12,0	0,76

Quadro 4.4 – Dimensões das C's do pavimento do piso 1 (ver Figura 4.22).

Cadeira	Secção (b x h) [cm <sup>2</sup> ]	Comprimento ( $\ell$ ) [m]
C1	10,0 x 12,0	1,50
C2	14,0 x 18,0	1,55
C3	12,0 x 14,0	1,76
C4	10,0 x 22,0	3,31
C5	15,0 x 15,0	1,65

Relativamente ao pavimento do piso 2, não foi realizado um levantamento tão completo, como para os restantes. No entanto, o posicionamento e geometria das suas vigas é em tudo semelhante ao observado para o pavimento do piso 3 (Figuras 4.23 e 4.24).

A planta esquemática da estrutura da escada é apresentada na Figura 4.25 sendo que, neste caso, não se procedeu ao levantamento exaustivo da geometria das peças que a constituem.

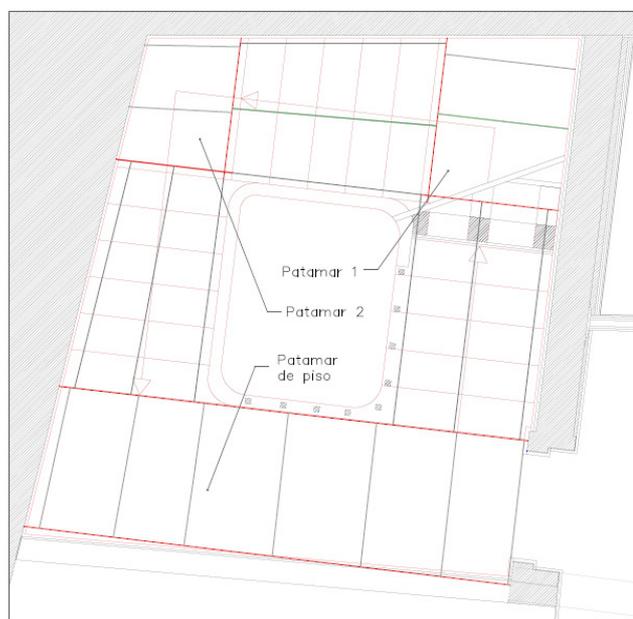


Fig. 4.25 – Planta estrutural esquemática da caixa de escadas.

#### 4.3.3. INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO

Todas as intervenções que têm como objectivo preservar ou reabilitar os edifícios antigos, de forma a manter a sua identidade arquitectónica, histórica e cultural, devem ser antecedidas por uma completa análise do estado de conservação dos diversos elementos estruturais que os constituem. As operações de conservação dos edifícios necessitam, portanto, de adoptar metodologias que incluem os passos de inspecção e diagnóstico, sendo que estas duas fases demonstram ser fundamentais na definição dos materiais e das tecnologias que melhor se irão enquadrar nas características do edifício em estudo.

As fases de inspecção e diagnóstico deste edifício foram conduzidas partindo da realização de uma avaliação inicial, onde se deram ordens para demolir vários elementos construtivos, para se poder, em seguida, proceder à inspecção propriamente dita das estruturas principais de madeira. Só depois se tomaram as decisões que esse procedimento determinou, após observação, ao nível das estruturas de madeira. Numa fase posterior, de acordo com a inspecção realizada, foi feita uma análise mais detalhada dos problemas de cada estrutura, tendo sido diagnosticadas, consoante o seu estado de conservação, as medidas a tomar para cada uma delas.

Posto isto, a avaliação inicial das estruturas existentes em madeira estabeleceu a seguinte ordem de trabalhos de demolição:

- Retirada dos estuques dos pavimentos, das escadas e da trapeira da cobertura;
- Eliminação das paredes de tabique que constituíam a separação original dos espaços interiores do edifício.

Realizadas estas tarefas, a inspecção pôde proceder à análise das estruturas em madeira e determinou o seguinte:

- O pavimento do piso 1 (tecto do rés-do-chão) deve ser alvo de uma correcção estrutural, através de uma proposta de intervenção devido à sua má concepção original;
- Os pavimentos superiores (pisos 2 e 3) devem ser aproveitados integralmente (com excepção do soalho e tarugamento, que é necessário substituir), desde que seja resolvida a questão do conforto acústico em conjunto com a introdução do novo soalho;
- Demolição integral dos pavimentos e escadas existentes no corpo secundário do edifício, por opção de projecto de arquitectura, com construção de nova solução com organização arquitectónica semelhante, mas recorrendo a lajes aligeiradas em betão armado;
- As escadas necessitam de reforços e substituições pontuais, mas serão aproveitadas, sendo necessário verificar a estabilidade e estado dos patamares e lanços de chegada e partida dos pisos;
- Eliminação da cobertura e pavimento da trapeira (tecto do piso 3), substituindo por nova solução com desenho semelhante ao existente, analogamente utilizando lajes aligeiradas em betão armado (Figura 4.29).

Apresentadas as orientações fornecidas pela inspecção inicial deste edifício, desenrola-se o diagnóstico das estruturas propriamente dito, onde se analisam as causas e os problemas existentes nos vários elementos.

Importa referir que não foram detectadas patologias nas paredes de granito, sendo este um bom indicador para que as entregas das vigas de madeira se encontrem em bom estado.

Ao nível dos pavimentos, verificou-se que os tarugos não apresentavam condições de durabilidade, devido ao seu estado de conservação, apresentando mesmo alguma torção no seu plano e, em alguns casos, ataques de caruncho aparentemente inactivos. Por estes motivos, os tarugos dos pavimentos a manter serão substituídos por peças novas, que evitarão o bambeamento das vigas. Relativamente ao soalho, conforme referido, devido ao seu mau estado de conservação e apesar de se ter observado que os ataques de caruncho existentes se encontram inactivos, serão integralmente substituídos por peças novas. Contudo, não serão retirados durante a fase de obra e proceder-se-á à colmatação de falhas existentes com madeira corrente encontrada no edifício (por exemplo, portas), que apresente capacidade resistente para assegurar a segurança dos trabalhadores.

O pavimento do piso 1, em princípio, faz parte da estrutura original deste edifício. Denota-se que o seu estado de conservação é bom, embora justifique uma acção de melhoria, já que o seu problema reside na concepção original deficiente. Isto é, o pavimento é suportado essencialmente por três vigas principais, intercaladas por vigas secundárias, que não perfazem todo o vão, sendo ligadas por cadeias às vigas principais. Há, portanto, uma sobrecarga elevada das vigas mestras deste pavimento (VP's), estando reduzida a resistência que este deveria ter. Atendendo ao seu uso futuro e durabilidade, urge, portanto, proceder a uma intervenção de reforço estrutural.

Quanto aos pavimentos dos pisos 2 e 3, apresentam organização estrutural semelhante e, na sua generalidade, aparentam estar em muito bom estado de conservação. Observa-se que foram alvo de uma substituição integral das suas dez vigas principais, com excepção das duas vigas de suporte da caixa de escadas. Todas as vigas vencem todo o vão do edifício e estão apoiadas nas paredes laterais em granito.

A zona pertencente ao corpo secundário do edifício, como já se disse, será demolida e construída de novo em estrutura de betão armado, através da introdução de novas estruturas de suporte (pilares e sapatas de fundação) e novas lajes, que serão aligeiradas. Esta estrutura funcionará então de forma independente relativamente ao edificado existente, sendo que as lajes aligeiradas suportarão as cargas que serão enviadas para os pilares que, por sua vez, os transmitirão até às novas fundações. Na Figura 4.26, pode ser observada esta nova construção, já em estado avançado de desenvolvimento. Pelo explicado, a fachada direccionada para o espaço de logradouro terá novo desenho.



Fig. 4.26 – Nova construção do corpo secundário do edifício.

A cobertura do corpo principal apresenta vários sinais de degradação que vão, desde exposição directa à água das chuvas (presença de humidade), à observação de deformações acentuadas nas madres (Figura 4.27), até evidência de ataques de caruncho em várias peças, nomeadamente nas secções de apoio das vigas (Figura 4.28). O mau estado de conservação da cobertura também acelerou o processo de degradação do pavimento da trapeira, que se encontrava em muito mau estado, sendo substituído por novo pavimento em laje aligeirada dotada de uma clarabóia que permite a entrada de luz natural na caixa de escadas. Este novo pavimento (da antiga trapeira) está assente nas paredes de granito (Figura 4.29). A escada, em betão armado, do apartamento duplex que dá acesso ao novo pavimento da trapeira, pode também ser visualizada na Figura 4.30.



Fig. 4.27 – Deformações das madres da cobertura.



Fig. 4.28 – Ataques de caruncho nas vigas.



Fig. 4.29 – Novo pavimento da antiga trapeira.

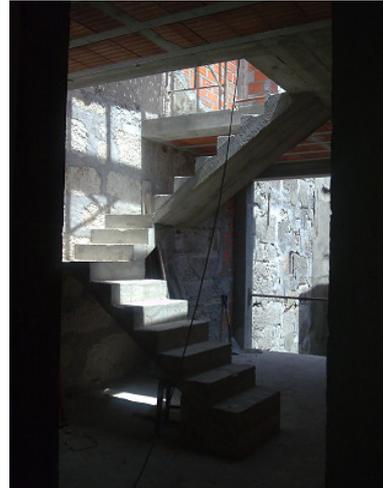


Fig. 4.30 – Escadas do apartamento duplex.

No contexto apresentado, a cobertura teria de ser substituída por nova. No entanto, por decisão de projecto já referida, a restituição da clarabóia obrigaria a que se procedesse desta mesma forma. A construção da nova cobertura encontra-se em fase avançada de execução, tendo-se optado por construir uma estrutura de vigamento de madeira nova na forma serrada (Figuras 4.31 e 4.32), apoiada tal como a anterior, nas paredes de granito.



Fig. 4.31 – Nova cobertura do corpo principal (futura janela da antiga trapeira).



Fig. 4.32 – Nova cobertura do corpo secundário.

Pode-se dizer, através da observação dos elementos estruturais das escadas, que estas se apresentam em boas condições, pelo estado razoável da maioria das peças, não se verificando deformações significativas, nem ataques bióticos, na sua generalidade. No entanto, será necessário efectuar uma avaliação mais aprofundada, uma vez que algumas zonas da escada ao nível do lanço de partida no patamar do rés-do-chão se encontram degradadas, assim como o soalho dos patins superiores situados no mesmo enfiamento. Aparentemente esta degradação terá sido causada pelo mau estado dos sistemas de escoamento de águas na antiga cobertura (deterioração da própria cobertura e dos elementos de recolha das águas, as caleiras) e de um tubo de queda situado junto à parede posterior (Figura 4.33).

No 3º andar, detectou-se que uma das vigas de suporte do patamar final das escadas apresentava ataques de caruncho e manchas de humidade, além de se observarem fendas consideráveis (Figura 4.34), não sendo possível uma melhor análise pela restante parte da viga estar oculta pelo guarda-

chapim. No entanto, não será relevante efectuar uma melhor avaliação deste elemento, uma vez que está prevista, em projecto, a eliminação deste pequeno prolongamento do patamar ao nível do piso 3.



Fig. 4.33 – Elementos de recolha de águas da antiga cobertura.



Fig. 4.34 – Degradação da viga de patamar final (3º piso – a eliminar).

Com efeito, a escada é um dos problemas deste edifício e o seu restauro terá de ser cuidadosamente analisado, sendo necessário realizar uma limpeza geral das peças existentes para se poder diagnosticar esses elementos com maior segurança e profundidade. Ainda assim, há peças que estão omissas ou muito degradadas, e que terão de ser substituídas, nomeadamente ao nível do soalho dos vários patamares, dos cobertores e dos espelhos dos degraus, tal como o guarda-chapim, os prumos e o corrimão do guarda corpos.

#### 4.3.4. RESUMO FINAL

O objectivo desta parte do trabalho consiste em analisar as estruturas de madeira do edifício em estudo de forma a perceber o seu funcionamento estrutural e identificar os seus problemas, tanto ao nível da concepção como de detecção de anomalias existentes, para se poder decidir quais as medidas a tomar, relativamente a cada uma delas.

A intenção dos intervenientes nesta obra é a de manter ou aproveitar o maior número de elementos em madeira do edificado, desde a caixa de escadas aos vigamentos dos pavimentos que estejam em boas condições.

Constatou-se que a maioria das peças estruturais de madeira estão bastante escurecidas e manchadas. Por tal razão, deverá realizar-se uma limpeza profunda e cuidada da superfície exterior das mesmas, com excepção dos elementos que se sabe que serão substituídos.

As entregas dos vigamentos dos pavimentos e das vigas em consola das escadas encontram-se em bom estado.

As principais causas das anomalias existentes neste edifício estão ligadas ao envelhecimento natural da madeira e à infiltração de água que ocorreu a partir da cobertura. As estruturas mais degradadas são elementos não estruturais, ou seja, o soalho, os rodapés e as caixilharias das janelas.

Pode concluir-se que o edifício apresenta duas zonas distintas no que se refere ao estado de conservação das suas estruturas de madeira e que consequentemente terão destinos opostos:

- Corpo secundário e parte superior do corpo principal do edifício, mais degradado (que serão alvos de demolição): cobertura, pavimento da trapeira e pavimentos e escadas do corpo secundário do edifício;

- Parte restante do corpo principal do edifício, em melhor estado de conservação (que será alvo de restauro, reforço ou substituição pontual): caixa de escadas, e pavimentos dos pisos 1, 2 e 3.

#### 4.4. EXEMPLO DE CLASSIFICAÇÃO DE UM PISO EXISTENTE

##### 4.4.1. INTRODUÇÃO

Apresentam-se neste ponto todas as diligências e resultados obtidos na classificação do pavimento do 3º andar do edifício em estudo (pisso 3). A avaliação foi realizada por observação visual *in situ* do pavimento em madeira, com base na proposta apresentada em (Franco, 2008) [23], com o objectivo de se validar a segurança estrutural das suas vigas.

A classificação dos elementos estruturais, baseada na proposta da Autora acima referida, é uma metodologia que assenta sobretudo na identificação e na medição de defeitos (ver 3.5.2), bem como na detecção de ataques bióticos. Assim, deve ser estudado cuidadosamente todo o procedimento e seus critérios para perceber de que forma se efectuou a validação das peças do pavimento.

De modo a poder realizar-se a classificação deste pavimento foi necessário efectuar um trabalho prévio *in situ*. Em primeiro lugar, foi necessário elaborar a planta estrutural do pavimento, definindo todas as peças e as suas dimensões, identificando os pontos críticos existentes (vigas que recebem esforços das escadas – lanços de partida e chegada; zonas de apoio das vigas – paredes de alvenaria de pedra). Em segundo lugar, procedeu-se à identificação e classificação de todas as peças da estrutura.

Esta avaliação culminou com o preenchimento de fichas de classificação *in situ*, que foram criadas adaptando a proposta existente ao caso de estudo, que serviram para conjugar toda a informação relevante, de forma a atribuir a classificação de “Aprovada” ou Rejeitada” à viga em causa.

##### 4.4.2. MODO DE EXECUÇÃO

###### 4.4.2.1. Material Utilizado

Apresenta-se, na lista seguinte, o material utilizado para a realização da classificação deste pavimento por observação *in situ*, que é na sua maioria relativamente acessível:

- Caderno de anotações e instrumento de escrita;
- Escadote de escada dupla com 2,5 m;
- Escovas, pincéis e folhas de lixa para madeira;
- Fita adesiva;
- Fita métrica e régua de medição de fendas com transferidor incorporado;
- Lanterna;
- Espelho reflector;
- Máquina fotográfica;
- Martelo de cabeça larga, chaves de parafusos e formão;
- Medidor de humidades (humidímetro).

Para além destas ferramentas e utensílios, também é imprescindível referir todo o equipamento de segurança e protecção que deve ser utilizado durante a execução deste procedimento: roupa adequada e confortável, óculos protectores, máscara de pó, luvas e capacete.

#### 4.4.2.2. Procedimento

O estudo dos elementos estruturais do pavimento analisado foi realizado seguindo um procedimento tipo, que consistiu na realização de um conjunto de tarefas, até se poder efectuar a validação dos diversos componentes em madeira. As etapas executadas enumeram-se de seguida:

- Preparação do material a utilizar;
- Limpeza simples das superfícies das peças;
- Marcação das vigas em troços com cerca de um metro (Figura 4.35);
- Medição do teor de água com o humidímetro (Figura 4.36);
- Identificação da espécie da madeira;
- Observação das vigas para identificar e medir os defeitos existentes (nós – Figura 4.37; fendas – Figura 4.38; descaio; inclinação do fio);
- Levantamento fotográfico exaustivo dos vários elementos;
- Registo dos dados através do preenchimento de uma ficha de classificação por peça;
- Avaliação final individual das peças, através da atribuição da respectiva classificação.



Fig. 4.35 – Marcação das vigas com ajuda de escada.



Fig. 4.36 – Utilização do humidímetro.



Fig. 4.37 – Medição de nós.



Fig. 4.38 – Medição de fendas.

Neste caso, foram mandados demolir todos os estuques que estavam fixados na parte inferior das vigas para sua mais fácil avaliação. Por este motivo, essas superfícies encontravam-se muito sujas e manchadas. O recurso a instrumentos de limpeza mostrou assim ser uma tarefa prévia essencial à correcta visualização das peças, podendo até justificar-se providenciar uma limpeza prévia mais profunda para ser mais fácil e rigorosa a inspecção visual.

A marcação das vigas em troços de pequena dimensão demonstra ser de grande utilidade, uma vez que facilita, não só o processo de classificação, como também ajuda a orientar o classificador no levantamento fotográfico da superfície dos elementos a analisar. Ainda na elaboração do registo fotográfico, alerta-se para que se tire uma fotografia ao cabeçalho da ficha de classificação, por exemplo, para se identificar o elemento que será avaliado e, para que, à *posteriori*, se possa interpretar e organizar de forma mais prática o levantamento efectuado.

A identificação da espécie botânica que deu origem às peças é realizada pelo classificador, atendendo à sua experiência e conhecimento da madeira.

#### 4.4.3. AVALIAÇÃO VISUAL DAS VIGAS DO PAVIMENTO DO 3º PISO (TECTO DO 2º ANDAR)

O pavimento em estudo é constituído por doze vigas principais que vencem todo o vão do edifício e fazem as suas entregas nas paredes de granito. A secção das vigas é rectangular e o seu comprimento foi contabilizado medindo a distância entre paredes de alvenaria, por impossibilidade de aceder aos seus topos.

Há um conjunto de considerações que devem ser indicadas antes de se descreverem os resultados da avaliação das vigas. Na maioria das vigas deste pavimento, observam-se micro fissuras e manchas de humidade (possivelmente devido à infiltração de água, em resultado do estado degradado da cobertura). As vigas apresentam, na sua superfície inferior, marcas transversais de cor branca e pregos cravados, que provocaram manchas características da presença de material ferroso na madeira (devidas à fixação do estuque).

O Quadro 4.5 apresenta todas as informações relevantes utilizadas na classificação das vigas deste pavimento, incluindo, ainda, a validação final de todos os elementos analisados.

Quadro 4.5 – Dimensões das vigas principais do pavimento 3 (ver Figura 4.39).

Viga	Secção (b x h) [cm <sup>2</sup> ]	Comprimento (ℓ) [m]	Humidade Relativa (HR) [%]	Espécie de Madeira	Validação (Classificação <i>In Situ</i> )
VP13	8,0 x 22,5	5,65	12,6	Casquinha	APROVADA
VP14	8,0 x 22,5	5,56	12,1	Casquinha	APROVADA
VP15	8,0 x 22,5	5,46	11,5	Casquinha	APROVADA
VP16	8,0 x 22,5	5,48	10,5	Casquinha	APROVADA
VP17	8,0 x 22,5	5,45	10,0	Casquinha	APROVADA
VP18	8,0 x 22,5	5,40	11,5	Casquinha	APROVADA
VP19	8,0 x 22,5	5,36	11,0	Casquinha	APROVADA
VP20	8,0 x 22,5	5,35	12,0	Casquinha	APROVADA
VP21	8,0 x 22,0	5,31	11,0	Casquinha	APROVADA
VP22	8,0 x 22,5	5,24	14,6	Casquinha	REJEITADA
VPE5	18,0 x 19,0	3,70	15,6	Castanho	REJEITADA
VPE6	18,0 x 15,0	3,70	18,2	Castanho	APROVADA

Nas vigas analisadas só estavam visíveis três lados da sua secção, uma vez que a sua parte superior estava oculta pelo soalho. Assim, designaram-se os lados visíveis da seguinte forma: Canto, para a parte inferior ou fundo da viga; Face 1, para o lado voltado para a parede de fachada; e Face 2 para o lado interior.

A Figura 4.39 recorda a planta estrutural do pavimento em estudo para que se percebam melhor as suas características e as explicações que se seguem.

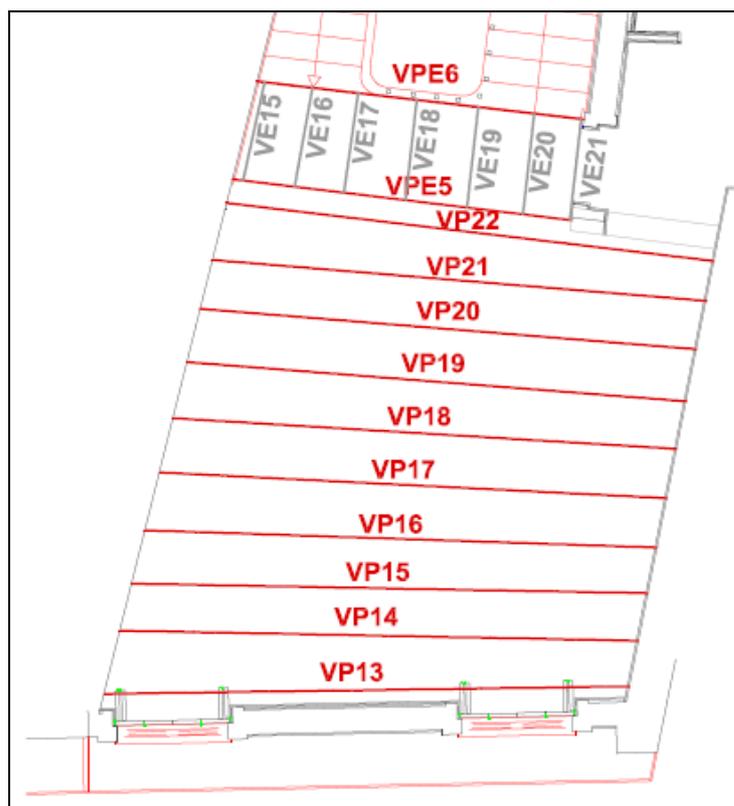


Fig. 4.39 – Planta estrutural do pavimento em estudo.

As vigas correspondentes ao patamar de escada, VE15 a VE21, não foram classificadas, uma vez que a viga VPE5 foi rejeitada. Para além deste facto, as vigas apresentavam secção irregular, marcas de bolor e manchas de humidade, sendo que a sua integridade inspira algum cuidado. Importa referir que a viga VPE5 não é uma viga muito esforçada, uma vez que suporta metade da carga do patamar da escada e ajuda à estabilidade da viga VPE6 através da transmissão dos esforços horizontais pelas VE's.

A outra viga rejeitada pela metodologia, a viga VP22, é uma viga que recebe metade da carga do pavimento comparando com as vigas VP14 a VP21, porque a sua área de influência é também correspondente a metade do valor das suas homólogas. Por esta razão, a curto prazo, aparentemente não é urgente proceder a uma intervenção neste elemento, mas deverá ser ponderado o seu reforço ou substituição, através da verificação por cálculo numérico adequado.

Realça-se que o pavimento se comporta de forma independente, relativamente ao patamar da caixa de escadas delimitado pelas vigas VP13 e VP22. Existe, portanto, uma orientação diferente do soalho nestes elementos, desenvolvendo-se para o pavimento, perpendicularmente às vigas VP13 a V22 e para o patamar, paralelamente às vigas VPE5 e VPE6. Na zona entre as vigas VP22 e VPE5, o soalho encontra-se praticamente em consola, existindo pequenas ligações de madeira que fazem a ponte entre estas vigas e asseguram a estabilidade das zonas limítrofes dos distintos corpos.

As vigas que foram rejeitadas pelo método de classificação visual devem ser substituídas ou reforçadas. Sugere-se a simples colocação de uma viga metálica paralelamente à existente, apoiando em cantoneira metálica fixada por buchas na parede de alvenaria ou encastrada na mesma (envolvendo



#### 4.4.4. CONDICIONANTES E DIFICULDADES DA CLASSIFICAÇÃO VISUAL *IN SITU*

Após a realização da classificação visual do pavimento descrito, considerou-se bastante importante e de grande utilidade descrever quais as grandes dificuldades sentidas e as condicionantes locais existentes durante um procedimento deste género.

Caso seja possível, a análise dos elementos estruturais de madeira deve ser realizada por pelo menos dois classificadores, tornando-se um processo muito demorado e difícil quando é executado por apenas um elemento. A observação do elemento e o transporte de material ao longo da viga tornar-se-ia muito mais facilitada e, em certos casos, poderiam corroborar-se certas decisões decorrentes da classificação das vigas. Um dos aspectos a discutir seria, por exemplo, a identificação da espécie da madeira em análise, que por vezes demonstra ser um processo de difícil execução.

A impossibilidade ou dificuldade de acesso à face superior das vigas e dos seus topos (zona de apoio), condiciona a avaliação da integridade dos elementos. Também a observação das faces das vigas colocadas paralelamente às paredes existentes pode ser muito restrita e pouco conclusiva.

Do mesmo modo, a visualização das vigas de suporte das escadas é limitada pela ocultação de pelo menos uma das faces (oculta pela própria escada) e condicionada pela proximidade à sua zona de bomba.

A limpeza das vigas pelo classificador em obra é uma tarefa de difícil execução com êxito, principalmente se as vigas se encontrarem bastante escurecidas ou com acumulação de muita sujidade, não se conhecendo procedimentos específicos de actuação nem dispondo de ferramentas adequadas.

Preferencialmente, deve recorrer-se a andaimes para aceder visualmente às várias faces das vigas dos pavimentos (ao contrário de escadotes ou semelhantes). O procedimento é assim facilitado, otimizando-se as deslocações do classificador e do próprio transporte do material necessário. Antes de ser iniciada a montagem ou posicionamento de qualquer estrutura deste tipo, deve haver uma verificação cuidada da estabilidade do pavimento de apoio, colocando-se protecção no soalho respectivo no caso de este vir a ser aproveitado ou para evitar escorregamento das bases do suporte, aspecto muito importante com vista à segurança física do classificador contra riscos de queda em altura.

Quando a avaliação é realizada em edifícios onde estão a decorrer simultaneamente obras de remodelação, deve utilizar-se equipamento de protecção adequado além do exigido, ou seja, óculos protectores e máscara de pó. Isto porque existe sempre muita poeira no ar e há grande probabilidade de queda de detritos através dos orifícios existentes no soalho do pavimento que se está a classificar. Este problema pode ser facilmente resolvido com a colocação de uma tela plástica de protecção no soalho, na sua face superior.

Uma das medidas a implementar numa obra de reabilitação, onde existem estruturas de madeira, prende-se com assegurar, em primeiro lugar, a estabilidade dos vários elementos, através, por exemplo, da colocação de escoras. Em segundo lugar, deve garantir-se que não há possibilidade de entrada de água pela cobertura (por queda directa, infiltrações pelas paredes de alvenaria, ou outro meio), isto porque as estruturas em madeira não devem estar sujeitas ao contacto directo com águas pluviais, que causariam agravamento do seu estado de conservação.

A estabilização da cobertura (mesmo que vá ser demolida), deve ser sempre equacionada, uma vez que possibilita o avanço contínuo dos trabalhos dentro do edifício, independentemente das condições meteorológicas. Da mesma forma, também deve providenciar-se a colocação de uma tela de protecção

do soalho, a qual, como já foi referido, não só funciona como barreira de contenção de detritos, como, ainda, ajuda a conservar o pavimento. Mesmo no caso de se optar pela sua substituição este é bastante útil durante a fase de construção da obra.

## **4.5. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO**

### **4.5.1. INTRODUÇÃO**

A apresentação de uma proposta de intervenção só é possível após ter sido realizada uma análise completa da estrutura onde foram diagnosticados os principais problemas. Esta avaliação é determinante para que, a partir dos resultados obtidos, se possam projectar soluções para os elementos estruturais que apresentam anomalias, que poderão assumir formas de restauro, reforço ou substituição das peças.

Neste caso, os grandes problemas identificados no edifício em estudo, residem na concepção errada do pavimento do 1º andar e na estabilidade futura das escadas. Para cada uma destas estruturas, propõe-se seguidamente nesta dissertação uma solução de reforço, de forma qualitativa, para assegurar as exigências de segurança.

Uma intervenção num edifício antigo ao nível destas estruturas não deve interferir de forma destruidora no edificado existente, pelo contrário, uma boa solução é aquela que implica o menor número de alterações possíveis. Todos os materiais e soluções que usem técnicas modernas devem ser aplicados com o objectivo de preservar, se possível, os materiais existentes.

No entanto, para que uma intervenção seja bem sucedida, com a resolução de todos os problemas detectados, devem ser eliminadas todas as causas existentes de degradação. A madeira é um material com boa capacidade resistente e muito durável, desde que sejam asseguradas e mantidas boas condições do local onde este tipo de peças está implantado. Sobretudo, deve evitar-se que a madeira esteja em contacto directo com materiais que possam reter humidade (argamassas de cimento, por exemplo) ou impeçam, de forma contínua, a ventilação dos seus apoios.

Para além das intervenções de reforço referidas, abordam-se também neste subcapítulo as temáticas relativas à drenagem de águas residuais e do abastecimento de águas ao edifício, referindo-se, com especial cuidado, o modo mais adequado da instalação dos seus elementos, atendendo às zonas húmidas existentes e abordando-se paralelamente a segurança contra incêndios neste edifício.

### **4.5.2. PROPOSTA ESTRUTURAL**

#### **4.5.2.1. Reforço do Pavimento 1**

A proposta de reabilitação estrutural do pavimento do 1º andar consiste, resumidamente, no reforço através da colocação de vigas metálicas sob a estrutura existente. Recorda-se que o vigamento deste pavimento é constituído por vigas secundárias que são interrompidas por cadeias, que por sua vez transmitem uma sobrecarga às vigas principais. Este tipo de desenho repete-se ao longo do pavimento, podendo distinguir-se três zonas separadas com este tipo de organização, apoiadas, em última instância, nas vigas VP1, VP2 e VP3.

Neste contexto, pretende-se nesta intervenção aliviar a sobrecarga aplicada às vigas principais com a introdução de uma viga metálica, vencendo todo o vão, por cada zona referida, posicionada paralelamente às vigas existentes e ficando em contacto com a parte inferior da cadeia respectiva. O suporte da nova viga será assegurado através da colocação de cantoneiras metálicas fixadas por meio

de ligações aparafusadas nas paredes laterais de granito. Na Figura 4.41, apresenta-se um alçado esquemático representativo da solução proposta.

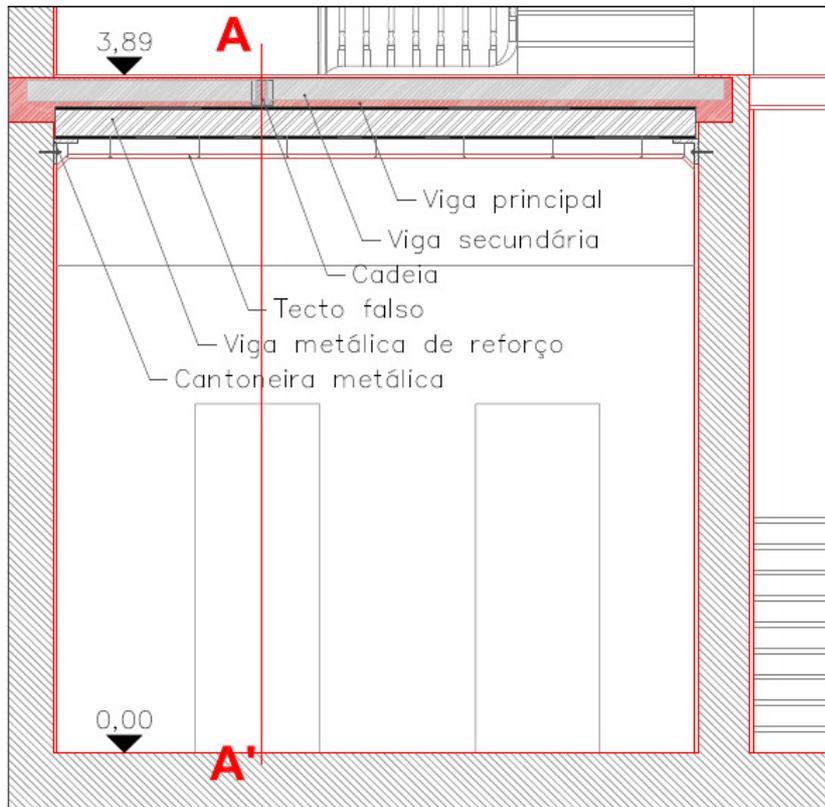


Fig. 4.41 – Alçado representativo da solução de reforço do pavimento do 1º andar.

Entende-se que esta será a melhor solução para reforçar este pavimento. No entanto, irá perder-se alguma altura útil no espaço de comércio do rés-do-chão, o que não será grave, uma vez que o pé-direito existente é da ordem dos 3,70 m. Será aplicado um tecto falso na zona inferior do pavimento, sugerindo-se que este seja suspenso por meio de elementos metálicos fixados nas vigas principais e principalmente nas novas vigas metálicas de reforço. Na Figura 4.42 ilustra-se o Corte AA', que passa pelo centro da cadeia C1, indicado na figura precedente. De referir que, nesse corte, se apresentam apenas duas das três vigas a implantar no pavimento, de modo a facilitar a compreensão da solução proposta.

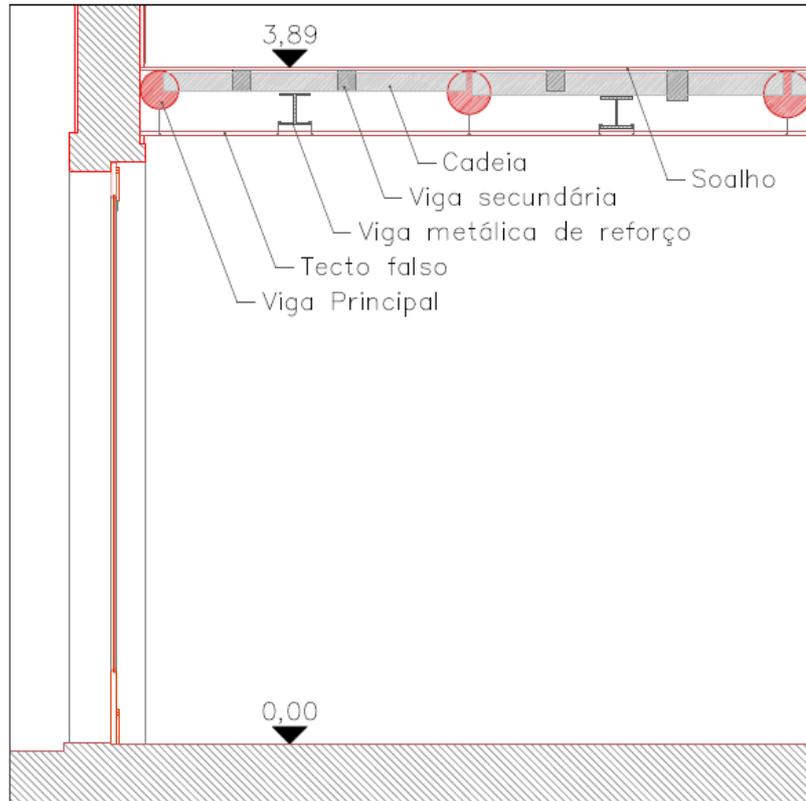


Fig. 4.42 – Corte AA' da solução de reforço do pavimento do 1º andar.

#### 4.5.2.2. Reforço das Escadas

A estabilidade dos patamares intermédios (patins de volta) das escadas do edifício em estudo inspira algum cuidado, pelo que a proposta de intervenção tem o objectivo de vir colmatar este problema. A solução proposta passa pela introdução de uma viga metálica, com desenho particular, entre pisos, localizada na zona inferior dos patamares intermédios (ver Figura 4.43).

No total, serão necessárias duas vigas metálicas deste género (ao nível dos pisos 1 e 2). O apoio destas vigas será realizado através da colocação de uma cantoneira metálica, fixada por meio de ligações aparafusadas nas paredes de granito, tomando-se especial cuidado na parede que separa a caixa de escadas do corpo secundário do edifício, por possuir espessura menor. A viga ficará posicionada sob as vigas em consola dos patins, paralelamente à parede de granito de tardo, acompanhando a perna do lanço das escadas mais próxima do guarda-chapim. Esta solução virá compensar os efeitos de flexão e torção das escadas. Ou seja, as vigas em consola que suportam os patins sofrem deformação por flexão, tal como as pernas do lanço posterior das escadas e ficarão assim melhor apoiadas e sujeitas a um sistema estrutural não isostático (situação existente). Já as pernas dos outros dois lanços de escada (paralelos entre si), que apoiam nas vigas dos patamares, sofrem rotação da sua secção por flexão ao nível dos patins de volta e, por sua vez, são sujeitos a torção. Nas Figuras 4.43 e 4.44 podem visualizar-se, respectivamente, o alçado e o corte da solução proposta para reforço das escadas.

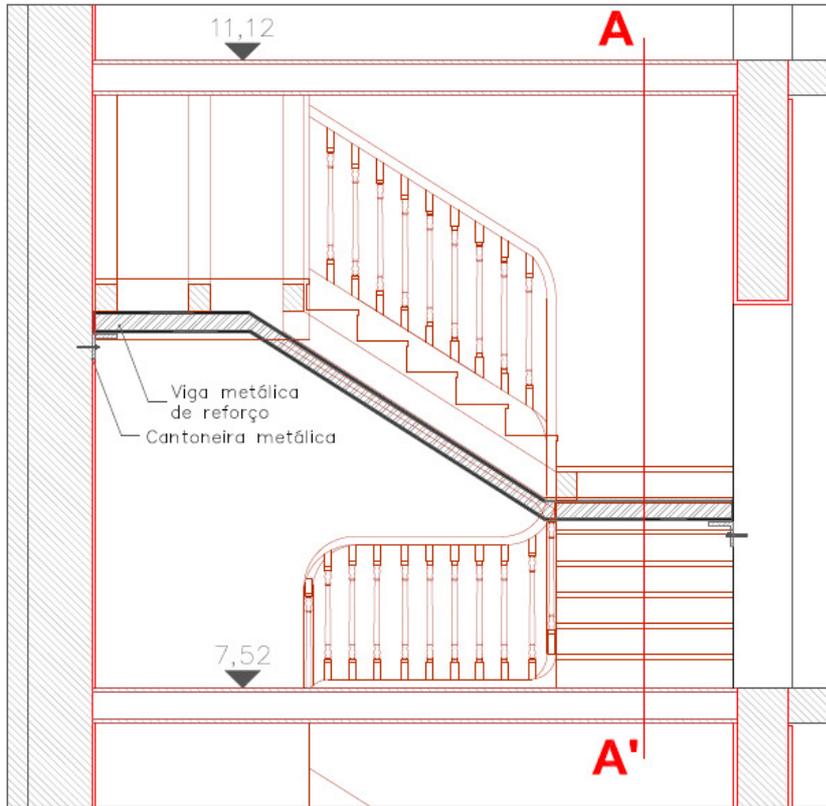


Fig. 4.43 – Alçado representativo da solução de reforço das escadas.

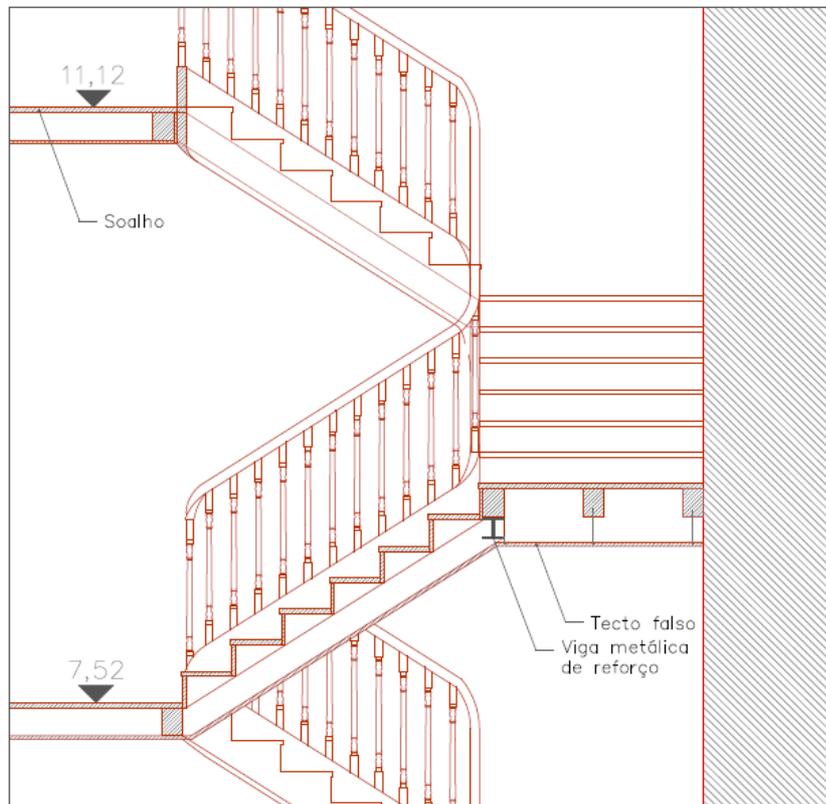


Fig. 4.44 – Corte AA' da solução de reforço das escadas.

Tal como na solução de reforço, ao nível do pavimento do primeiro piso, irá perder-se alguma altura útil dos lanços das escadas, pela colocação do seu forro inferior. Para além deste facto, será necessário acertar a dimensão do guarda-chapim, de forma a esconder a viga de reforço, sendo fundamental compatibilizarem-se as distintas cotas construtivas deste elemento.

Alerta-se ainda para a avaliação da necessidade de colocação de uma terceira viga de reforço, ao nível do arranque da escadaria, no rés-do-chão, com desenho idêntico e filosofia de funcionamento semelhante à dos reforços propostos.

#### 4.5.3. OUTROS ASPECTOS ANALISADOS

##### 4.5.3.1. Abastecimento de Águas e Drenagem de Águas Residuais Domésticas

No novo projecto de arquitectura, é possível observar a introdução de zonas húmidas, nomeadamente de cozinhas e sanitários. Este facto é muito importante atendendo à necessidade de instalar sistemas de distribuição de águas e drenagem de águas residuais domésticas.

Através da análise do projecto de arquitectura pode observar-se que as zonas sanitárias (uma por apartamento, com excepção do duplex que terá duas) ficarão situadas no corpo secundário, ao passo que as cozinhas (uma por apartamento) se localizarão no corpo principal do edifício, implantadas paralelamente aos patamares principais das escadas, para o piso 1 e 2 e no corpo secundário para a cozinha do piso 3 (duplex). Neste contexto, será conveniente prever duas caixas de courette independentes para conter os tubos de abastecimento de águas e os tubos de queda da drenagem das águas residuais domésticas. Uma vez que as plantas de projecto apenas apresentam uma zona de courette, na Figura 4.45, apresenta-se uma possível solução esquemática alternativa, das instalações dos elementos de drenagem de águas residuais domésticas, ao nível do piso térreo.

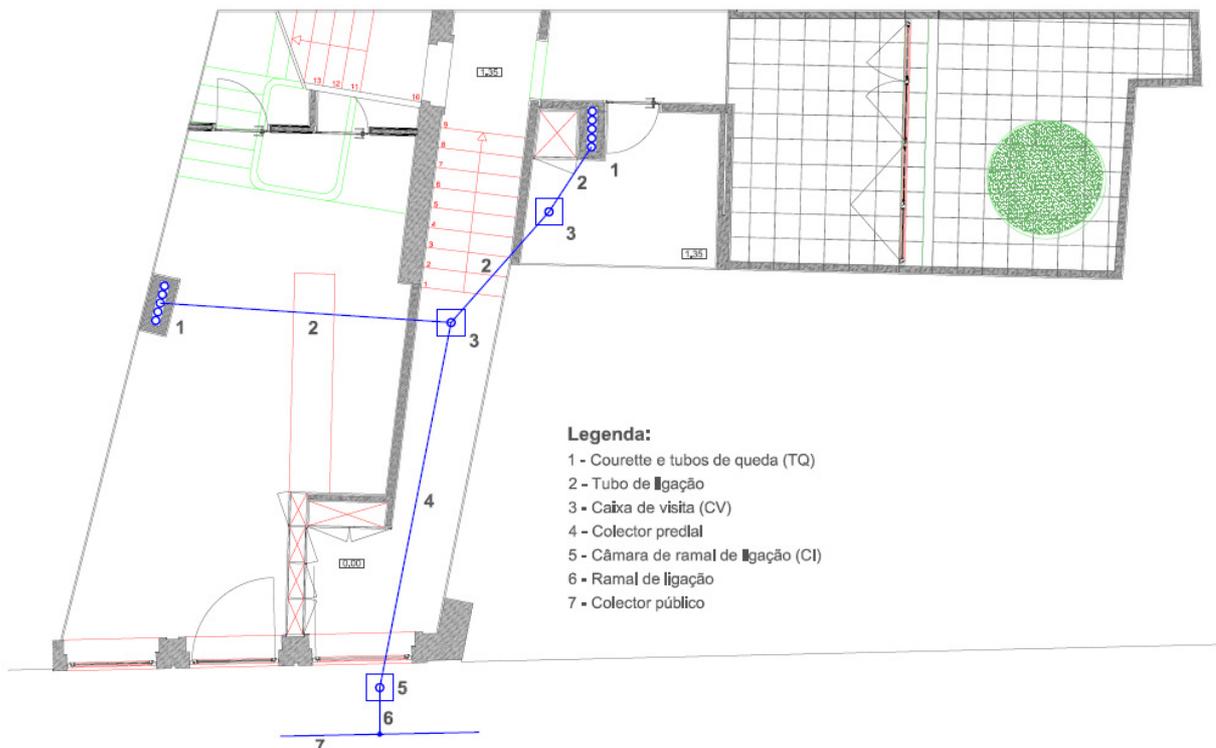


Fig. 4.45 – Planta esquemática da drenagem de águas residuais domésticas (rés-do-chão).

A construção de uma segunda zona de courette (omissa em projecto), que serviria as cozinhas do corpo principal, localizada junto à parede de alvenaria, asseguraria a passagem das tubagens de forma fácil e adequada para que não haja problemas de humidades nos pavimentos de madeira existentes.

A parede de alvenaria que fará a separação entre o patamar e a zona de cozinha, no interior do apartamento, poderá ser concebida de forma a albergar na zona indicada o local de passagem das tubagens verticais, indicadas na Figura 4.45.

Posto isto, o esquema apresentado relativo à drenagem de esgotos poderá servir também como base para o posicionamento relativo do sistema de abastecimento de águas no edifício.

#### 4.5.3.2. Segurança Contra Incêndios

Um dos grandes problemas dos edifícios antigos consiste em garantir que, no caso de ocorrer um incêndio, as pessoas conseguem sair do mesmo em segurança e em tempo útil. Esta pretensão, por vezes é de difícil concretização, já que, nem sempre existem caminhos de evacuação adequados e saídas de emergência distintas. Este panorama agrava-se quando os caminhos de evacuação são assegurados por estruturas de madeira.

De acordo com as boas práticas de segurança contra incêndios, as condições de evacuação em edifícios devem ser as seguintes:

- Os edifícios devem dispor de saídas em número e largura suficientes, convenientemente distribuídas e devidamente sinalizadas;
- As vias de evacuação devem ter a largura adequada;
- As distâncias a percorrer devem ser limitadas;
- As características dos caminhos de saída devem conduzir directamente ao exterior, as portas devem abrir para o exterior, a largura deve ser sensivelmente uniforme, devem ser protegidos contra fumo e fogo, sinalizados convenientemente.

Na maioria dos edifícios antigos, tal como o prédio em estudo, as suas estruturas base são constituídas por elementos de madeira, como os seus pavimentos e as suas escadas. Assim, no caso de ocorrer um incêndio que afecte as estruturas em madeira, muito dificilmente estas serão recuperáveis, isto porque este é um material cuja reacção ao fogo pode ir de muito a facilmente inflamável (classes M3 a M4, E326:1979) [18]. Refere-se, a título indicativo, que a velocidade média de carbonização da madeira é de 0,6 mm por minuto, pelo que, ao contrário da sua fraca reacção ao fogo, a madeira tem boa resistência a este fenómeno, conferindo-lhe alguma durabilidade durante um incêndio, o que pode dar ao utilizador algum tempo para realizar a evacuação do edifício em boas condições de segurança.

Neste contexto, a segurança contra incêndios de edifícios antigos demonstra ser uma tarefa complexa de concretizar. Em situações semelhantes, uma das soluções a adoptar consiste na instalação, pelo exterior do edifício, de escadas de emergência em estrutura metálica. Nesta zona da baixa portuense, essa possibilidade é praticamente inexequível, devido à falta de espaço na envolvente do edificado.

Posto isto, parece-nos que a melhor solução a aplicar na segurança contra incêndio em edifícios antigos reside na prevenção. Esta poderá passar pela instalação de equipamentos de protecção activa (detecção e meios de extinção), que permitam ao utilizador detectar a existência de um incêndio em fase inicial, para que proceda à evacuação do prédio o mais rapidamente possível, sem prejuízo de tentar, com os meios de extinção, combater o fogo na fase inicial do seu desenvolvimento.

#### 4.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No processo de reabilitação de edifícios antigos deve entender-se que as fases de inspecção e diagnóstico, nas quais ocorrem a interpretação estrutural e, conseqüentemente, se consegue entender o funcionamento estrutural das construções, demonstram ser fases fundamentais para o desenrolar de uma boa metodologia construtiva, ou seja, inicialmente é mais importante garantir a segurança global das estruturas do que os elementos associados a um material específico. Neste sentido, a procura do conhecimento construtivo e enquadramento histórico, assim como a realização de uma completa descrição arquitectónica e estrutural, procedendo a uma vasta recolha de informação, através da elaboração de levantamentos geométricos e construtivos do edificado, são fundamentais, para que melhor se entendam as causas dos problemas existentes.

Nesta dissertação, no caso estudado, determinaram-se os principais problemas ao nível da segurança das estruturas em madeira do edifício analisado, que consistiam na verificação da estabilidade dos pavimentos, especialmente do tecto do rés-do-chão e das escadas.

De forma sintética, no novo projecto deve atender-se ao seguinte: as escadas deverão ser restauradas e ser alvo de um reforço estrutural adequado, a cobertura e pavimentos do corpo secundário devem ser substituídos por construções novas, os pavimentos dos pisos 2 e 3 deverão ser mantidos assegurando-se a aplicação de reforços pontuais e, por fim, será necessário reforçar o pavimento do piso 1, que possui um desenho estrutural originalmente mal concebido.

Quanto à metodologia adoptada na avaliação do estado das estruturas de madeira, para este caso de estudo, esta consistiu resumidamente, em primeiro lugar, na identificação dos problemas existentes, para estudar soluções de reforço ou sugerir a substituição dos elementos e, em segundo lugar, num estudo de identificação e análise da localização das zonas húmidas do novo projecto, com o objectivo de estudar e propor uma solução adequada, assegurando a integridade dos elementos de madeira.

A realização da avaliação de estruturas de madeira em edifícios antigos, através da metodologia de classificação visual *in situ*, demonstrou ser uma tarefa complexa, não só porque exige um conhecimento profundo das espécies de madeira, onde a experiência do classificador é um factor determinante, mas também pelas dificuldades sentidas e condicionantes locais existentes, que tornam este trabalho num processo demorado e de aplicação nem sempre prática. Os principais obstáculos identificados a serem ultrapassados na elaboração de uma classificação visual de estruturas de madeira *in situ*, foram os seguintes: deve ser providenciada uma correcta limpeza prévia dos elementos a analisar, para que não haja dificuldade na identificação dos defeitos nas peças; o processo não deve ser elaborado por apenas uma pessoa, uma vez que se torna bastante demorado, com conseqüências nos custos e avanço dos trabalhos; deve ser montada uma estrutura simples, tipo andaime, que cumpra os requisitos de segurança e permita ao(s) classificador(es) ter adequada mobilidade durante o processo de avaliação ao longo de uma viga; há claramente dificuldade de avaliar os topos das vigas existentes, assim como das diversas faces ocultas dos vários elementos.

A metodologia de classificação visual foi adaptada às circunstâncias locais, sendo para isso elaborada uma ficha de classificação *in situ*, para aplicação neste processo. Procurou-se refinar o processo de avaliação para que se pudesse concretizar numa só ficha técnica a análise completa de cada peça, incluindo a observação dos defeitos realizada pela avaliação de vários troços no elemento. Esta prática foi bastante benéfica para o procedimento, uma vez que permitiu torná-lo mais simples e prático, além de que reduziu significativamente o tempo de preenchimento e organização da informação recolhida.

As vigas do pavimento avaliado foram, na sua generalidade, aprovadas, como era esperado para a estrutura em causa, sendo que, das doze peças existentes, apenas duas foram rejeitadas pelo método de classificação. Este procedimento permitiu estudar a possibilidade de aplicar soluções de reforço para que o aproveitamento das vigas excluídas pela metodologia fosse exequível.

No momento em que se iniciou o estudo deste prédio, já tinham ocorrido algumas reparações ao nível das paredes de alvenaria, nomeadamente com a aplicação de argamassa de cimento nas suas juntas. Este procedimento deverá ser revisto, uma vez que as zonas de apoio das vigas dos pavimentos e escadas foram parcial ou totalmente preenchidas com esta argamassa, podendo provocar efeitos indesejados nessas zonas, tais como libertação de humidade por parte do ligante e má ventilação dos topos das vigas de madeira. Sugerem-se procedimentos alternativos que permitam a ventilação localizada dos apoios das vigas existentes.

A fase de execução da reabilitação de um edifício deste género, numa zona do Porto como a descrita, apresenta grande complexidade, sobretudo devido à falta de espaço de estaleiro e dificuldades nos acessos viários a estes locais, o que condiciona o transporte e recolha de materiais para a zona de construção, assim como a possibilidade de instalação de pequenas gruas, que facilitariam o processo de construção. Isto porque, a principal condicionante de obras deste género prende-se com a implantação do estaleiro que, por não haver alternativa, acaba por ser instalado no piso térreo do próprio edifício, dificultando as operações, neste caso, para um classificador, quando se queira avaliar adequadamente o pavimento existente, no tecto desse compartimento (tecto do rés-do-chão).

# 5

## CONCLUSÃO

### 5.1. PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS

Após a elaboração deste trabalho, pode concluir-se que o objectivo de aplicar a metodologia de classificação visual adaptada pelo orientador deste trabalho, com vista a efectuar a classificação de elementos estruturais existentes em madeira, foi atingido. No entanto, a procura de metodologias para avaliação de peças estruturais em madeira *in situ* é um processo complexo e que não pode ser considerado, de maneira nenhuma, concluído. Será necessário continuar a desenvolver investigação nesta área para que este processo possa começar a ser consolidado e aplicado de forma metódica e com toda a segurança.

Nos capítulos 2 e 3 são introduzidos conceitos de carácter mais geral e elabora-se um estado da arte, de forma a enquadrar o objecto principal da dissertação, sendo que o capítulo 4 constitui a parte mais inovadora do trabalho. Pretende-se fazer passar a mensagem de que a madeira é um material de construção que apresenta características muito variáveis, no que concerne ao número de espécies de árvores existentes, às suas propriedades físicas e mecânicas particulares e pelo facto de possuir defeitos de diversos tipos e com várias origens. Por estas razões, avaliar a capacidade resistente de elementos estruturais existentes e a consequente atribuição de valores de cálculo para madeira antiga é um processo complexo e de muito difícil normalização.

Em reabilitação, é fulcral realizar uma inspecção completa e testar os elementos existentes, de forma a poder avaliar o estado de conservação e a integridade das peças de madeira e a definirem-se propriedades de cálculo. Neste sentido, é fundamental identificar as zonas críticas e propor formas de intervenção associadas, o que obriga a uma explicação correcta dos sistemas estruturais (vigas principais e apoios) e a uma análise cuidada das zonas mais susceptíveis de terem estado sujeitas (ou virem a estar futuramente) a acções importantes de humidade.

No final do processo de reabilitação de edifícios constituídos por sistemas estruturais de madeira, deve procurar-se, o mais possível, introduzir mecanismos que possibilitem a inspecção e avaliação visual periódica das peças existentes, assim como de desenhos e pormenorização das alterações efectuadas.

De realçar que, eliminando as causas de humidades e assegurando a correcta ventilação dos locais de implantação dos elementos estruturais, a madeira demonstra, em geral, ser bastante resistente e estruturalmente eficiente. Porém, devem ser garantidas as condições referidas para se reduzir a probabilidade de ocorrência de ataques bióticos ou outros fenómenos que fragilizem a resistência mecânica das peças.

Para avaliar a segurança estrutural dos elementos em madeira, é fundamental a interpretação correcta dos sistemas construtivos existentes em edifícios antigos, para além da definição rigorosa e segura das principais propriedades de cálculo e da escolha dos métodos de cálculo mais adequados.

Provou-se que é possível aplicar a metodologia de classificação visual a estruturas em madeira de um edifício antigo, através da optimização do processo que naturalmente teria de ser praticado *in situ*. Neste sentido, esta metodologia pode ser uma ferramenta útil, embora necessite de melhorias.

A metodologia de classificação visual foi adaptada com sucesso às circunstâncias locais, sendo necessário elaborar uma ficha de classificação *in situ* para aplicação a um caso real. Para isso, procurou-se refinar o processo de avaliação para que se pudesse concretizar numa só ficha técnica a análise integral de uma viga, incluindo a observação dos defeitos ao longo dos vários troços no elemento.

As vigas do pavimento avaliado eram de madeira serrada e foram, na sua generalidade, aprovadas, como era esperado para a estrutura em causa. Das doze peças existentes analisadas, apenas duas foram rejeitadas pelo método de classificação. O procedimento adoptado e o realismo e actualidade do caso de estudo permitiram, ainda, estudar a possibilidade de aplicar soluções de reforço para que o eventual aproveitamento das vigas excluídas pela metodologia fosse exequível.

A classificação visual é um exercício que exige muito conhecimento e experiência e, portanto, enumeram-se de seguida algumas conclusões importantes relativas à aplicação desta metodologia:

- O método é de difícil aplicação a madeira na forma redonda, conseqüentemente a sua classificação permanece uma questão problemática;
- O conhecimento do estado de conservação interior dos elementos estruturais em madeira é muito importante para que se possa avaliar a possibilidade de deformação de uma peça lenhosa e, por este motivo, sugere-se a aplicação de ensaios não destrutivos para complementar a validação da segurança estrutural de pavimentos;
- A inspecção por observação visual, por si só, não é suficiente e, em edifícios com grande valor patrimonial, devem usar-se métodos não destrutivos e retirar carotes para identificar com total rigor a espécie de madeira em presença;
- A classificação visual pode ser interessante para casos de edifícios correntes, mas implica a adopção de valores de cálculo mais conservadores;
- A sua aplicação requer a afectação de pessoal com funções específicas e o resultado da classificação tem de ter estatuto de “certificação” e ser efectuado por pessoa ou entidade credenciada para esse efeito;
- A metodologia apresenta dificuldades na sua concretização: existe grande variedade de espécies de árvores; sem desmontar as estruturas não se conseguem ver as peças na totalidade; é difícil garantir a detecção de todos os defeitos importantes (nós; fendas; agrupamento de nós; ataques bióticos, agora inactivos, mas que deixaram lesões profundas).

O trabalho desenvolvido no estudo de caso ilustra a importância da explicação do funcionamento estrutural e a respectiva ligação com os defeitos das madeiras, sendo este o problema fundamental a enfrentar na avaliação de sistemas construtivos existentes em madeira.

A escada em madeira, estudada no edifício do prédio do Largo dos Lóios, é um exemplo paradigmático desta situação. Para este sistema estrutural é necessário compreender que existem duas zonas críticas fundamentais: por um lado, os patamares intermédios, que estão apoiados em vigas em consola, onde cada uma delas acumula a carga transmitida pelos lanços de escada que aí chegam ou partem, sendo a análise da sua estabilidade muito importante; por outro, a ligação dos lanços de partida e chegada ao patamar do pavimento respectivo, onde é fulcral avaliar a integridade das vigas de suporte dos patamares e quais as vigas que têm essa função, para além de saber qual o seu comportamento mecânico, nesta configuração.

Um outro exemplo bastante significativo, abordado no caso de estudo, é o do tecto do rés-do-chão do mesmo edifício, que apresenta uma má concepção estrutural. É importante que se compreenda que as vigas principais estão sobrecarregadas pelos esforços que as vigas secundárias transmitem às cadeias. Consequentemente, pode dizer-se que o pavimento está apoiado essencialmente em apenas três vigas principais. Este desenho construtivo não é redundante e poderá tornar-se gravemente instável no caso de ocorrer uma alteração da capacidade resistente de uma qualquer destas vigas, sendo evidente a necessidade de implementar um reforço estrutural para que o pavimento reabilitado desempenhe adequadamente a sua função, reduzindo significativamente o risco de eventuais maus funcionamentos futuros.

Finalmente, a explicação da ligação dos pavimentos à escada é sempre uma questão fundamental e levantam-se diversas questões: “Como apoia a escada?”; “Onde acaba o pavimento?”; “Há duas vigas de suporte?”; “Há pilares escondidos?”.

Em geral, na reabilitação das estruturas de escadas de edifícios antigos é aconselhável deixar a estrutura à vista, já que o risco de eventual mau funcionamento é bastante elevado: são sistemas estruturais arriscados (possuem consolas suportando os seus patamares); as escadas estão apoiadas em peças inclinadas, por vezes em número reduzido; o apoio destas peças no patamar é assegurado normalmente por uma única viga (o que implica zonas críticas nos dois apoios desta viga e nas ligações das peças principais dos lanços/vigas de patamar).

Em resumo, pensa-se que é legítimo concluir que esta dissertação cumpre os dois principais objectivos enunciados:

- Explicar, de forma ilustrada por um caso real concreto, uma metodologia de abordagem da verificação da segurança estrutural de estruturas de madeira existentes, em destaque para os pavimentos;
- Aplicar o designado “método de Amorim Faria” a um pavimento real existente num edifício do Centro Histórico do Porto e reflectir sobre as suas principais virtudes e limitações, na perspectiva da respectiva aplicabilidade prática.

## **5.2. PROPOSTAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO**

Na sequência do trabalho desenvolvido no estudo de caso e na consulta e pesquisa bibliográfica elaborada no âmbito desta dissertação, propõem-se em seguida algumas ideias que poderão ter interesse para explorar em estudos futuros, com ou sem estrutura de dissertação:

- Reflexão geral sobre a metodologia de verificação da segurança estrutural e estabilidade dos sistemas construtivos em madeira, procurando-se novos desenvolvimentos teóricos nesta área, fundamentados por experimentação em laboratório e estudo de casos reais;
- A proposta de classificação adoptada deve ser revista, associando-se os resultados obtidos nesta dissertação e a obter em estudos futuros, com o objectivo de se criarem novas propostas de classificação com extensão a outras espécies e situações e de se obter uma nova iteração da proposta, consistente e de fácil aplicação;
- Definição de uma metodologia que consiga conjugar o processo de classificação visual com os métodos de inspecção não destrutiva, de forma a alcançar resultados mais precisos e rigorosos, criando-se linhas de orientação para que um técnico devidamente habilitado possa atribuir uma “certificação” tipo aos elementos em madeira existentes;
- Estudos de novos casos cuja constituição dos edifícios existentes incorpore estruturas em madeira antiga, com destaque para outros sistemas estruturais, nomeadamente coberturas;
- Caracterização da ligação da metodologia de classificação ao cálculo da verificação de segurança, segundo o EC5, com análise de sobrecargas admissíveis;
- Avaliação da aplicabilidade do EC5 para estruturas em madeira existentes;
- Ligação do projecto estrutural com aspectos de conflito com outras áreas construtivas, tais como as instalações de diversas especialidades e a introdução de infra-estruturas (abastecimento de águas, drenagem de águas residuais urbanas, rede de electricidade, rede de gás, rede de comunicações);
- Ligação do projecto estrutural com áreas de conforto (térmica e acústica) e da segurança não estrutural (segurança contra incêndios, segurança na utilização, saúde e segurança dos utilizadores).

Por fim, a reabilitação de edifícios e a avaliação estrutural de elementos em madeira são um assunto de grande importância, para o futuro da construção, no que toca à preservação da malha urbana existente, tanto ao nível do edificado corrente, como do histórico. A contribuição dada por esta dissertação, constitui apenas um pequeno avanço, no complexo estudo da aplicação de metodologias de validação de peças existentes em madeira e atribuição dos respectivos valores de cálculo, a utilizar nos processos de verificação da respectiva segurança estrutural.

**BIBLIOGRAFIA****REFERÊNCIAS**

- [1] ARRIAGA, Francisco; PERAZA, Fernando; ESTEBAN, Miguel; et al. *Intervención en Estructuras de Madera*. AITIM, Madrid, 2002.
- [2] BAUER, Luís A. Falcão. *Materiais de Construção. Novos Materiais para Construção Civil*. Volume 2, 5ª Edição, Livros Técnicos e Científicos Editora, 2001.
- [3] BENOIT, Y.. *Le guide des essences de bois*. CTBA, Paris, 1997.
- [4] BOTELHO, Jerónimo. *Avaliação não Destrutiva da Capacidade Resistente de Estruturas de Madeira de Edifícios Antigos*. Dissertação de Mestrado em Reabilitação do Património Edificado. FEUP, Porto, 2006.
- [5] CACHIM, Paulo Barreto. *Construções em Madeira - A madeira como material de construção*. Publindústria, Porto, 2007.
- [6] CARVALHO, Albino. *Madeiras Portuguesas - Estrutura anatómica. Propriedades. Utilizações*. Volume 1, Instituto Florestal, Lisboa, 1996.
- [7] COSTA, Aníbal; PAUPÉRIO, Esmeralda; GUEDES, J. Miranda; DIAS, T. Ilharco. *Estrutura de Madeira dos Pisos: Relatório de Inspeção e Diagnóstico – Edifício do Largo dos Lóios, nº 59, 59A, 59B*. FEUP, Núcleo de Conservação e Reabilitação de Edifícios e Património - NCREP, Instituto da Construção – IC, Porto, 2007.
- [8] COSTA, F. Pereira. *Enciclopédia Prática da Construção Civil*. 3ª Edição, Portugália Editora, Lisboa, 1955.
- [9] COUTINHO, Joana de Sousa. *Sebenta de Materiais de Construção 1 – Madeiras*. FEUP, Porto, 1999.
- [10] CRUZ, H. (1993); MACHADO, J. Saporiti. *Proposta para o estabelecimento de classes de qualidade para a madeira de pinheiro bravo para estruturas e respectivos valores característicos de resistência mecânica*. ICT, Informação Técnica Estruturas – ITES 9. LNEC, Lisboa, 1993.
- [11] CRUZ, H. (1997a); MACHADO, J. Saporiti; RODRIGUES, M.; et al. *Madeira para Construção – M1: Especificação de Madeiras para estruturas*. LNEC, Lisboa, 1997.
- [12] CRUZ, H. (1997b); MACHADO, J. Saporiti; RODRIGUES, M.; et al. *Madeira para Construção – M2: Pinho Bravo para Estruturas*. LNEC, Lisboa, 1997.
- [13] CRUZ, H. (1997c); RODRIGUES, M.. *Madeira para construção – M9: Humidade da Madeira*. LNEC, Lisboa, 1997.
- [14] CRUZ, H. (2000); MACHADO, J. Saporiti; NUNES, Lina. *Inspeção e avaliação de estruturas de madeira. Comunicação apresentada no seminário “Estruturas de Madeira: Reabilitação e Inovação”*. LNEC, Lisboa, 2000.
- [15] CRUZ, H. (2001). *Patologia, Avaliação e Conservação de Estruturas de Madeira - II Curso Livre Internacional de Património*. Associação Portuguesa dos Municípios com centro histórico, Fórum UNESCO Portugal, Santarém, 2001.

- [16] DIAS, Tiago Ilharco. *Pavimentos de Madeira em Edifícios Antigos. Diagnóstico e Intervenção Estrutural*. Dissertação de Mestrado em Reabilitação do Património Edificado. FEUP, Porto, 2008.
- [17] Especificações E31:1954, *Terminologia de madeiras*. Série B, Secção 1. LNEC, Lisboa, 1955.
- [18] Especificações E326:1979, *Edifícios. Recomendações para a elaboração de especificações de comportamento*. LNEC, Lisboa, 1979.
- [19] FARIA, J. Amorim (2002a). *Reabilitação de estruturas de madeira em edifícios históricos. Património Estudos – nº 3, Ciências e técnicas aplicadas ao Património*. IPPAR, Lisboa, 2002.
- [20] FARIA, J. Amorim (2002b). *MADEIRA NA CONSTRUÇÃO – O FUTURO PROMETE*. Conferência: “Semana das Engenharias”, 16 de Abril de 2002, Escola Superior de Tecnologia e Gestão do IPB, Bragança.
- [21] FARIA, J. Amorim (2009); NEGRÃO, João. *Projecto de Estruturas de Madeira*. Publindústria Edições Técnicas, 2009.
- [22] FEIO, Artur J. Oliveira. *Inspection and Diagnosis of Historical Timber Structures: NDT Correlations and Structural Behaviour*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Universidade do Minho, Escola de Engenharia, 2005.
- [23] FRANCO, Sónia. *Proposta de Atribuição de Propriedades Mecânicas a Elementos Estruturais de Madeira por Inspeção In Situ*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil. FEUP, Porto, 2008.
- [24] FREITAS, Vasco Peixoto; PINTO, Paulo da Silva. *Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção – Condensações Internas*. 2ª Edição, Nota de Informação Técnica - NIT, Laboratório de Física das Construções - LFC, 1998.
- [25] MACHADO, J. Saporiti (1996). *Madeiras de Folhosas e Resinosas – Nomenclatura Comercial*. ICT, ITES 11. LNEC, Lisboa, 1996.
- [26] MACHADO, J. Saporiti (2000); CRUZ, Helena; NUNES, Lina. *Inspeção de elementos estruturais de madeira. Selecção das técnicas não destrutivas a aplicar in situ*. REPAR 2000, Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas, Lisboa, 2000.
- [27] PERIÇÃO, M.; AMARANTE, M.; ANTUNES, R.; REGO, S.. *Estudo Diagnóstico e Proposta de Intervenção: Rua dos Bragas nº 318. Construções em Madeira*. FEUP, Estudos Avançados em Reabilitação do Património Edificado, 2009.
- [28] REIS, A. Correia; FARINHA, J. S. Brazão. *Tabelas Técnicas*. Edições Técnicas E.T.L., 1998.
- [29] SOUSA, Carlos F.. *Construções em Madeira. Elementos de apoio às aulas teórico-práticas*. FEUP, 2006.

## **NORMAS**

- [30] BS 4978:1996, *Visual strength grading of softwood*. BSI, UK, 1996.
- [31] BS 5756:1997, *Specification for visual strength grading of hardwood*. BSI, UK, 1997.
- [32] DIN 4074:2001, *Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil1: Nadelholz*. DIN, Germany, 2001.

- [33] EN 1310:1997, *Round and sawn timber. Method of measurement of features*. CEN, Brussels, 1997.
- [34] EN 14081-1:2005, *Timber structures - Strength graded structural timber with rectangular cross section - Part 1: General requirements*. CEN, Brussels, 2004.
- [35] EN 14081-2:2005, *Timber Structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 2 – Machine grading: additional requirements for initial type testing*. CEN, Brussels, 2004.
- [36] EN 14081-3:2005, *Timber Structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 3 - Machine grading: additional requirements for factory production control*. CEN, Brussels, 2004.
- [37] EN 14081-4:2005, *Timber Structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 4 - Machine grading – grading machine settings for machine controlled systems*. CEN, Brussels, 2004.
- [38] EN 1995-1:2004, *Eurocode 5: Design of timber structures*. CEN, Brussels, 2004.
- [39] INSTA 142:2008, *Visual strength grading rules of Nordic T and LT timber*. Sweden, 2008.
- [40] NF B52-001:1998, *Règles d'utilisation du bois dans les constructions. Classement visuel pour l'emploi en structure des principales essences résineuses et feuillues*. CSTB, Loire, 1998.
- [41] NP 180:1962, *Anomalias e defeitos da madeira*. IGPAI – Repartição de normalização, Lisboa, 1962.
- [42] NP 4305:1995, *Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas. Classificação Visual*. IPQ, Lisboa, 1995.
- [43] NP 616:1973, *Madeira. Determinação da massa volúmica*. IGPAI - Repartição de Normalização, Lisboa, 1974.
- [44] NP EN 1912:2003, *Madeira para estruturas. Classes de resistência. Atribuição de classes de qualidade e espécies*. IPQ, Lisboa, 2003.
- [45] NP EN 1990:2002, *Eurocódigo 0: Bases para o projecto de estruturas*. IPQ, Lisboa, 2002.
- [46] NP EN 1991-1:2002, *Eurocódigo 1: Acções em estruturas*. IPQ, Lisboa, 2002.
- [47] NP EN 335-1:1994, *Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Definição das classes de risco de ataque biológico. Parte 2: Aplicação*. IPQ, Lisboa, 1995.
- [48] NP EN 335-2:1994, *Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Definição das classes de risco de ataque biológico. Parte 1: Generalidades*. IPQ, Lisboa, 1995.
- [49] NP EN 338:2003, *Madeira para estruturas – Classes de resistência*. IPQ, Lisboa, 2003.
- [50] NP EN 844-1:2001, *Madeira redonda e serrada. Terminologia – Parte 1: Termos gerais comuns à madeira redonda e serrada*. IPQ, Lisboa, 2001.
- [51] U84000420: 2003, *Beni culturalli. Manufatti lignei. Strutture portandi degli edifici. Inspezione in situ per la valutazione dello stato di conservazione e la stima delle prestazioni degli elementi in opera*. UNI, Italy, 2003.
- [52] UNE 56544:2003, *Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural: Madera de coníferas*. AENOR, Madrid, 2003.

## SÍTIOS INTERNET

- [53] Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera – AITIM, <http://www.infomadera.net/>, 01-06-2009.
- [54] Câmara Municipal do Porto – CMP, <http://www.cm-porto.pt/>, 06-06-2009.
- [55] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment – CSTB, <http://www.cstb.fr/>, 27-05-2009.
- [56] Deutsches Institut für Normung e. V. – DIN, <http://www.din.de/cmd?level=tpl-home&languageid=en>, 29-05-2009.
- [57] Diário de Obra – Edifício dos Lóios, <http://afloret2.wordpress.com/>, 05-06-2009.
- [58] Ente Nazionale Italiano de Unificazione – UNI, <http://www.uni.com/uni/controller/en/>, 28-05-2009.
- [59] European Committee for Standardization - CEN, <http://www.cen.eu/>, 01-06-2009.
- [60] Gabinete AF Arquitectura, <http://www.adrianafloret.com/>, 10-06-2009.
- [61] Hogan Hardwood & Moulding – H.H. & M., <http://www.hoganhardwoods.com/>, 20-05-2009.
- [62] Institute Technologique Organization Pôles et Stations - FCBA, <http://www.fcba.fr/>, 27-05-2009.
- [63] Instituto Português da Qualidade, <http://www.ipq.pt/>, 30-05-2009.
- [64] International Organization for Standardization – ISO, <http://www.iso.org/>, 06-06-2009.
- [65] Laboratório Nacional de Engenharia Civil, <http://www.lnec.pt/>, 25-05-2009.
- [66] Paloma Automare Illustrations, <http://drawsandillustrations.blogspot.com/>, 25-05-2009.
- [67] Porto Vivo – Sociedade de Reabilitação Urbana, <http://www.portovivosru.pt/>, 06-06-2009.
- [68] Spanish Association for Standardization and Certification – AENOR, <http://www.aenor.es/>, 28-05-2009.
- [69] The British Standards Institution – BSI, <http://www.bsi-global.com/>, 01-05-2009.
- [70] United National Educational, Scientific and Cultural Organization - UNESCO, <http://whc.unesco.org/en/list/755>, 20-06-2009.

## PROJECTO DE ARQUITECTURA

- [71] FLORET, Adriana. *Projecto de Arquitectura – Execução, Edifício do Largo dos Lóios nº 59, 59A, 59B*. AF Arquitectura, Porto, 2007.





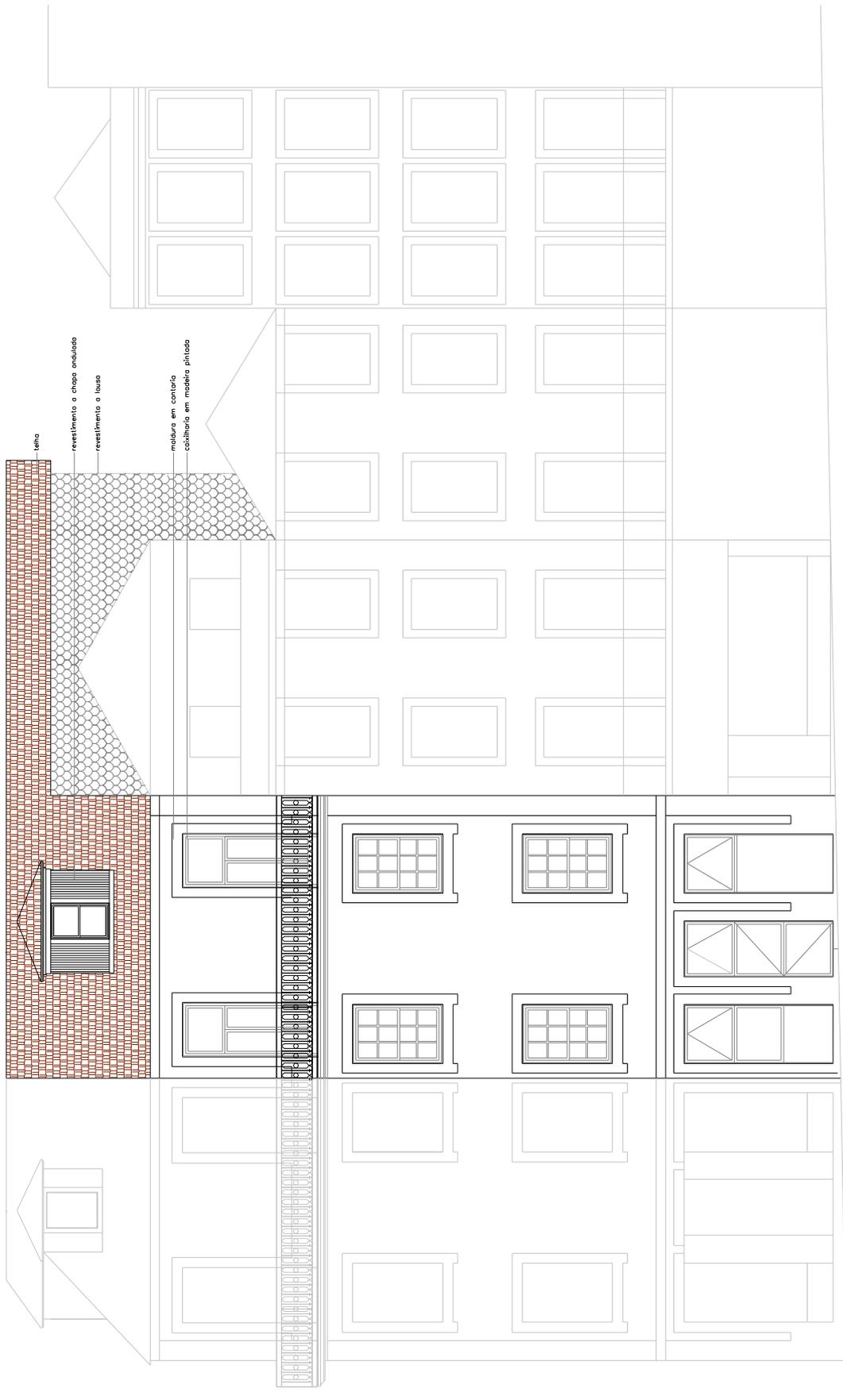
# **ANEXOS**



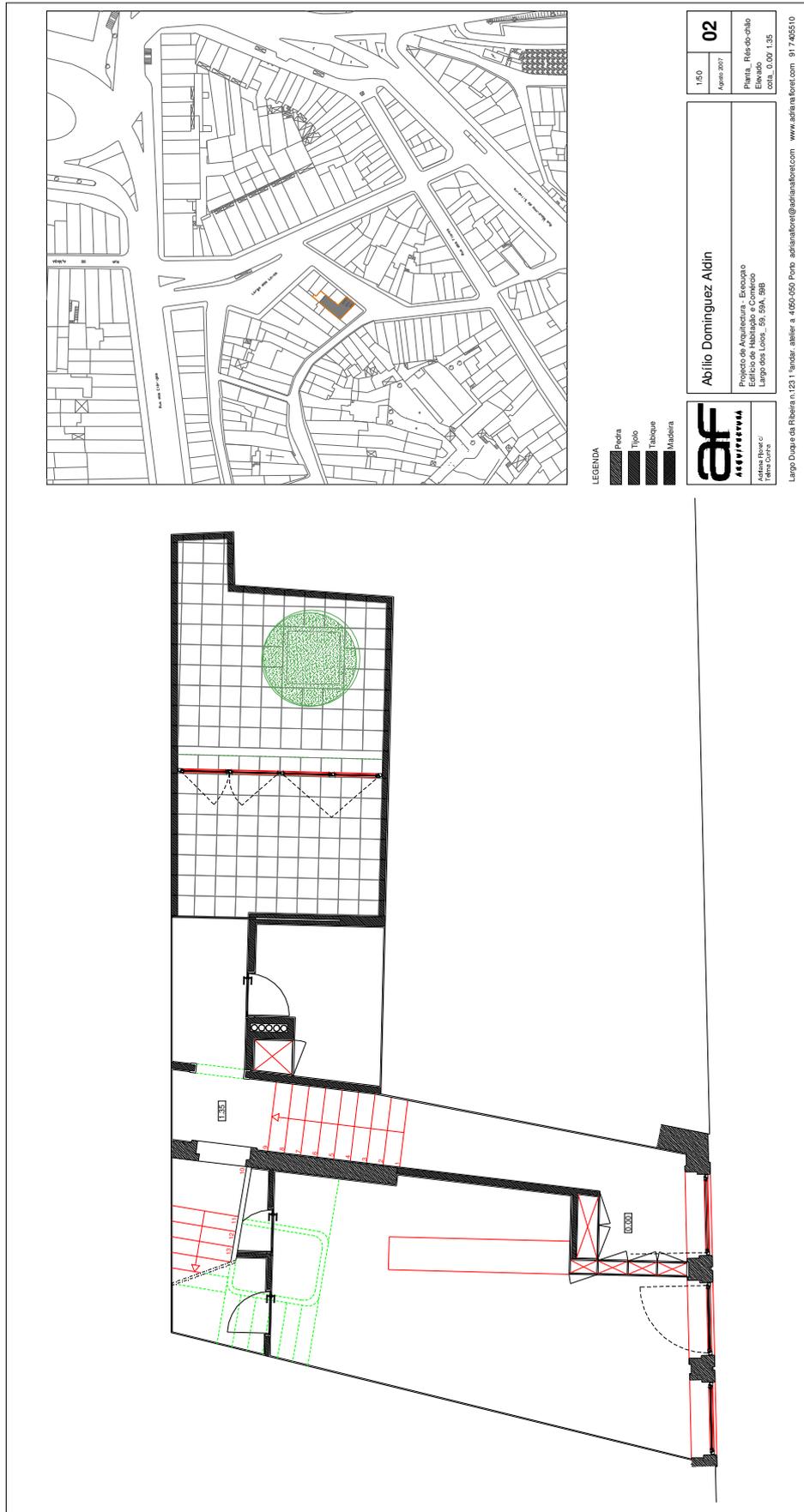
**A1**

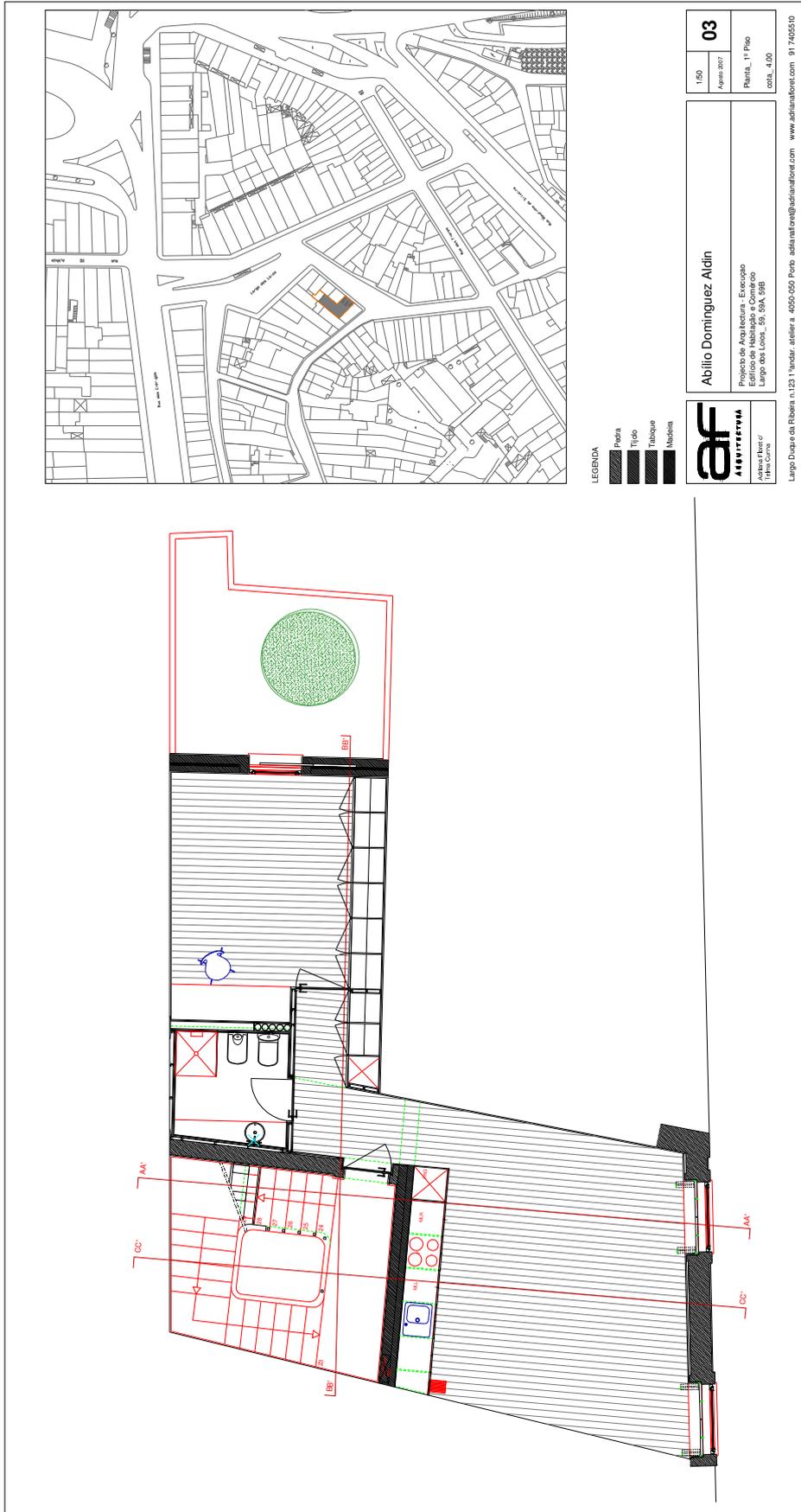
**PLANTAS DE ARQUITECTURA**

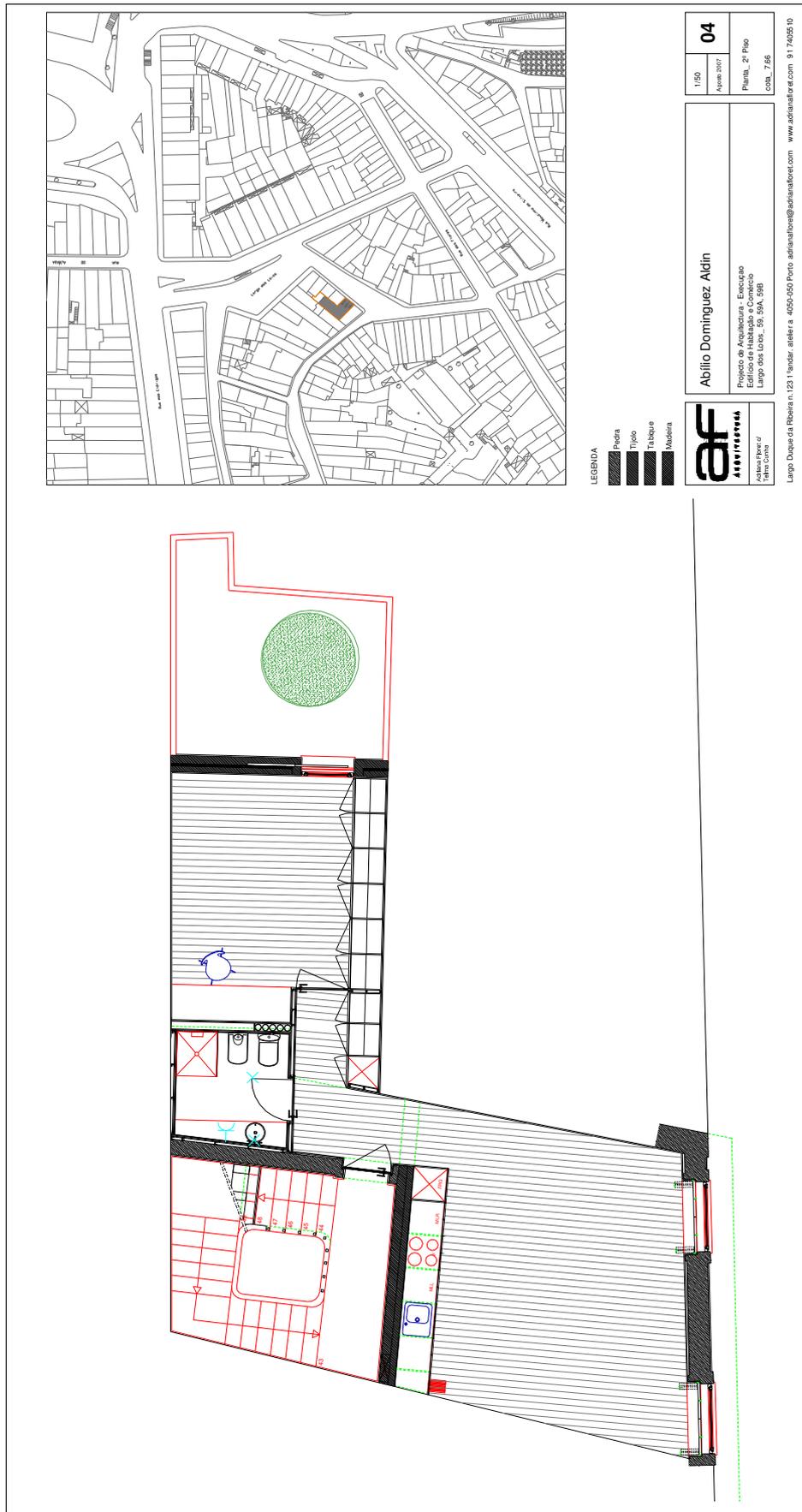


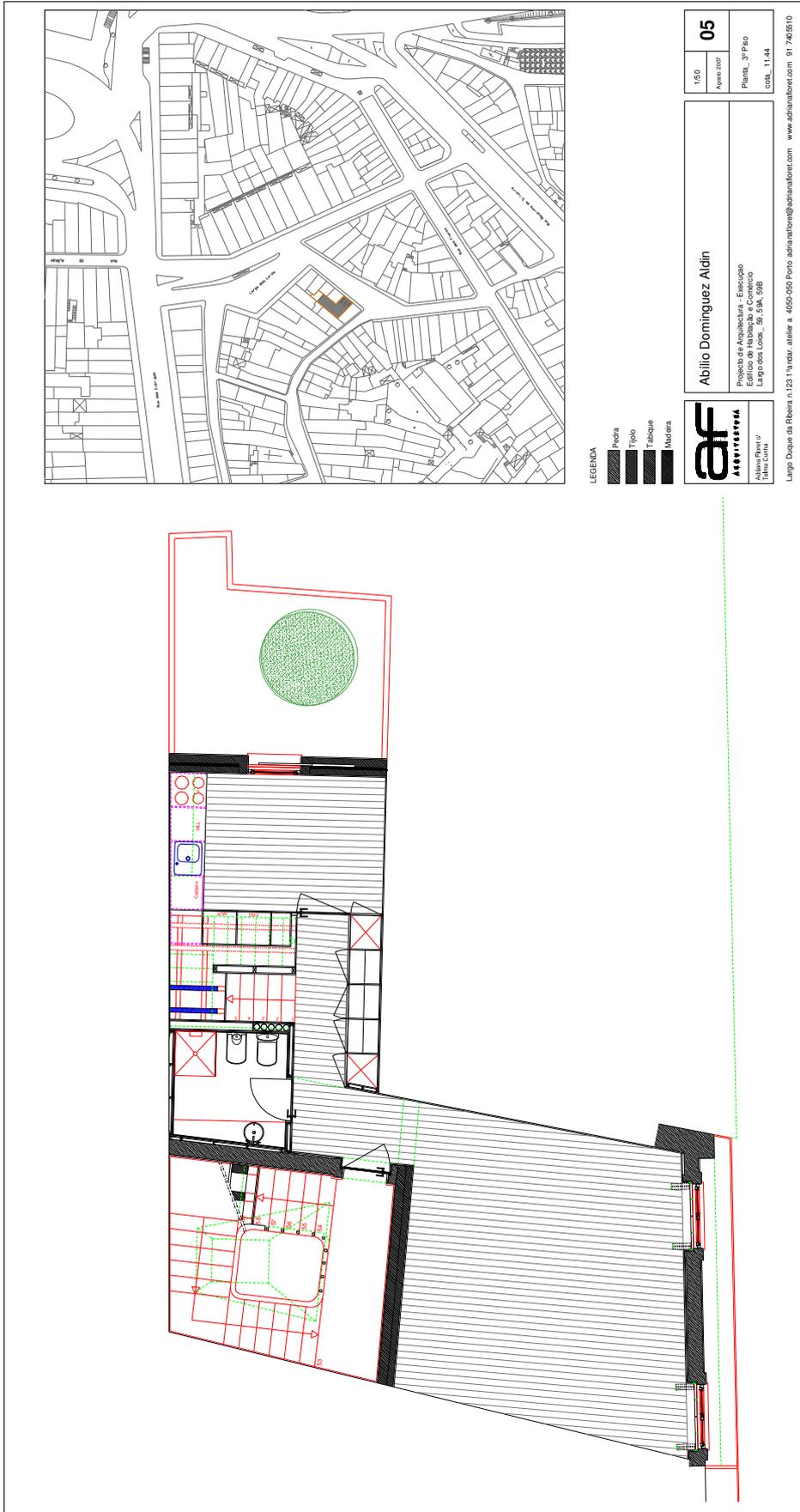


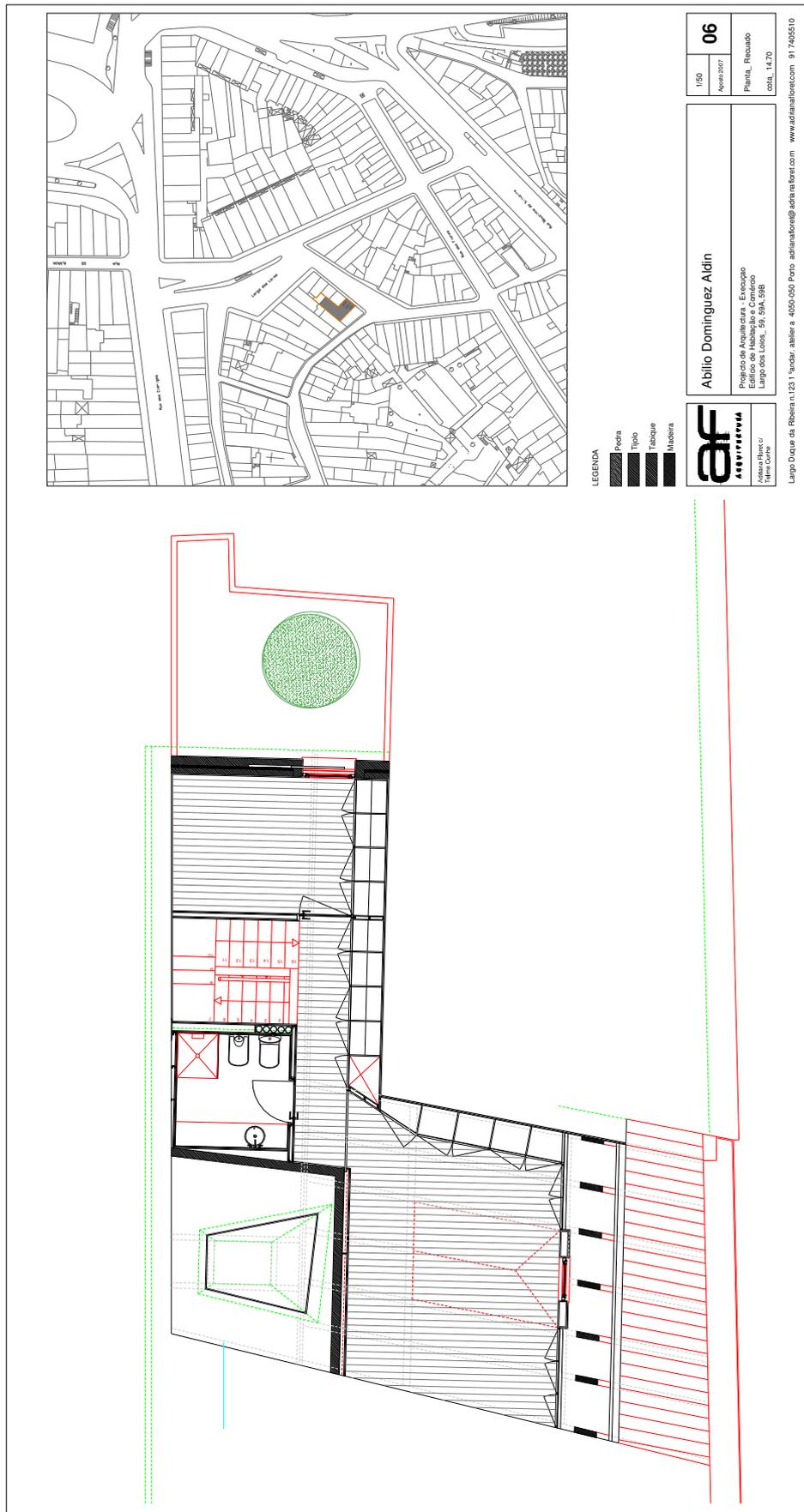


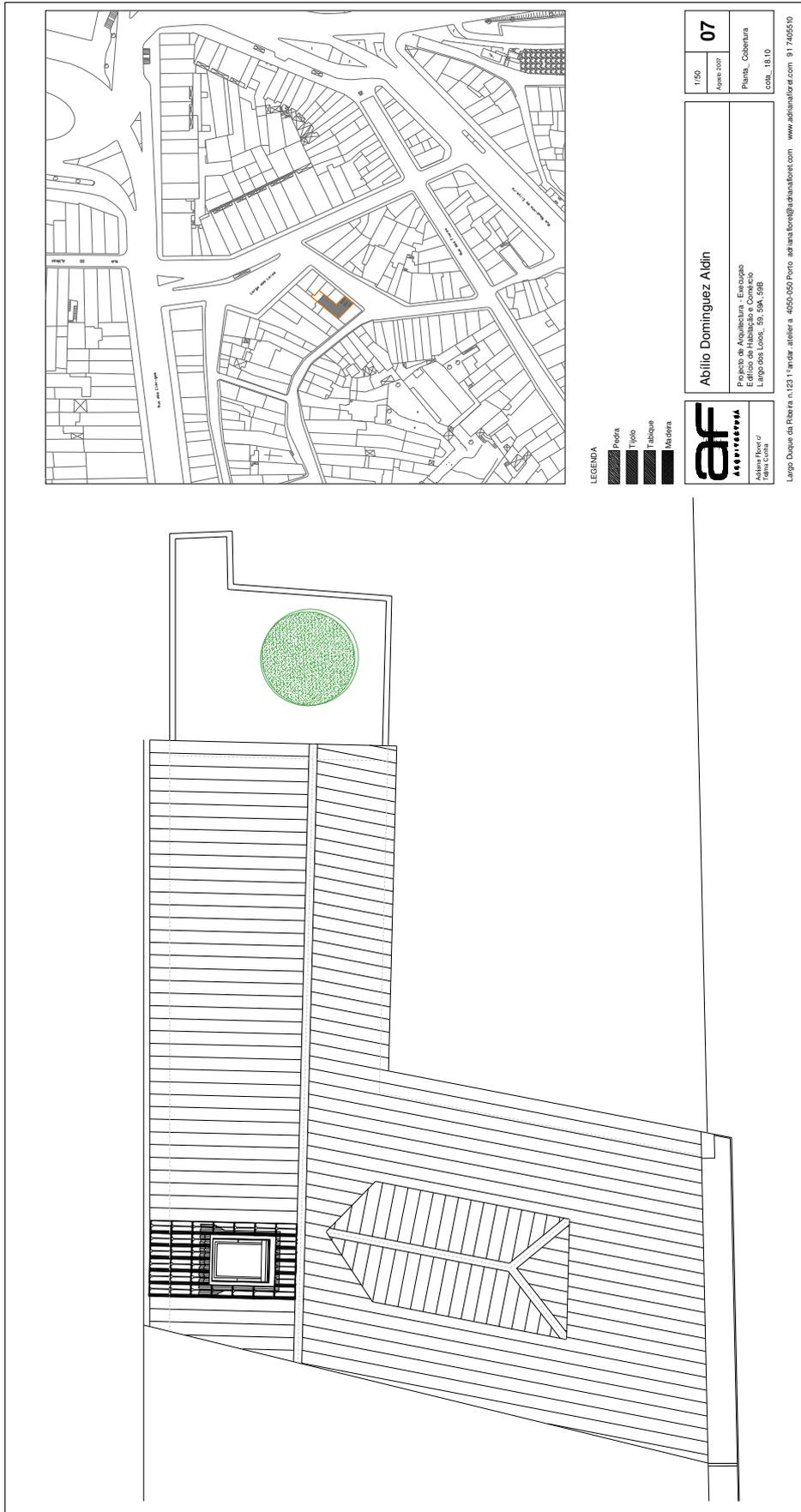




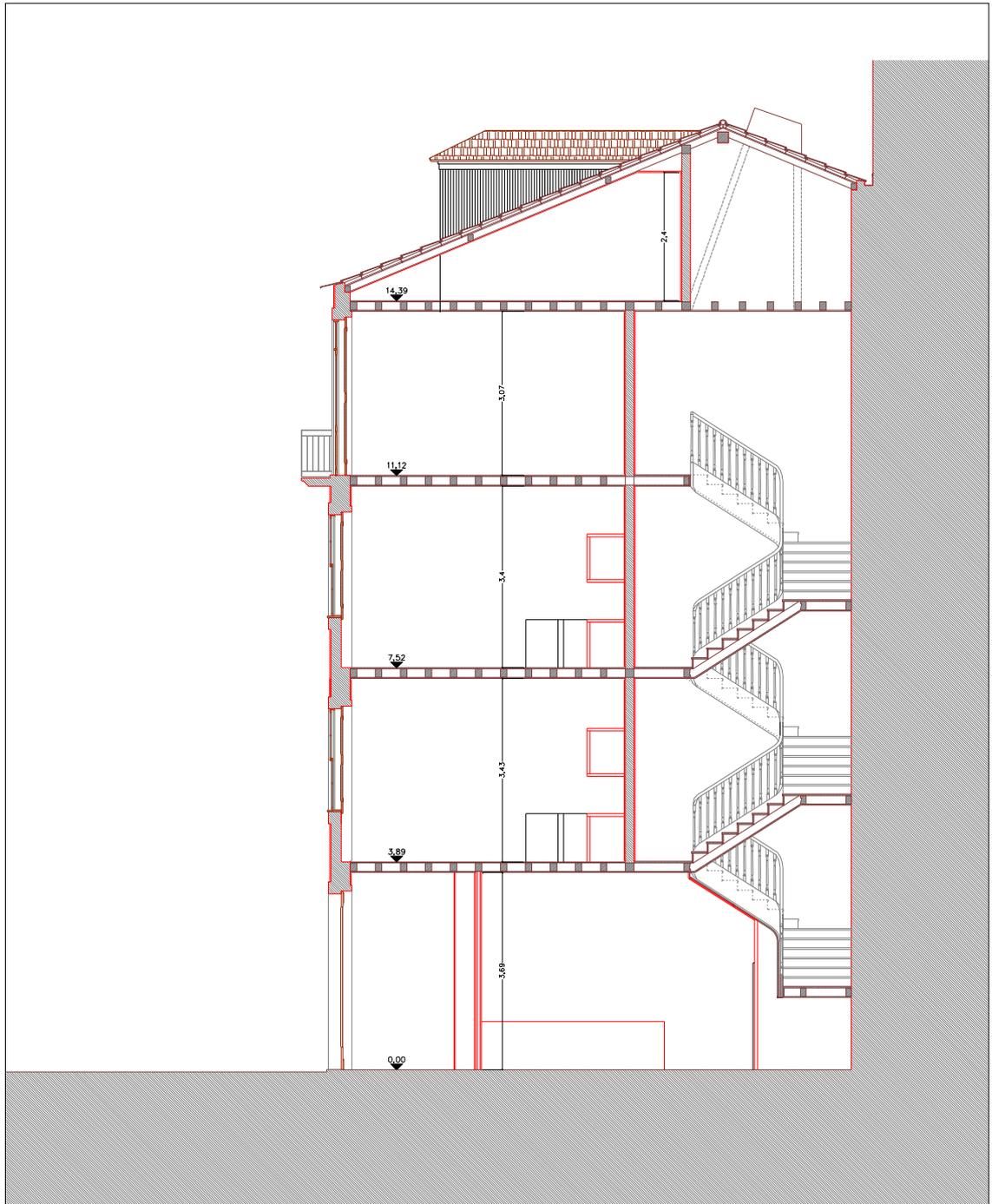




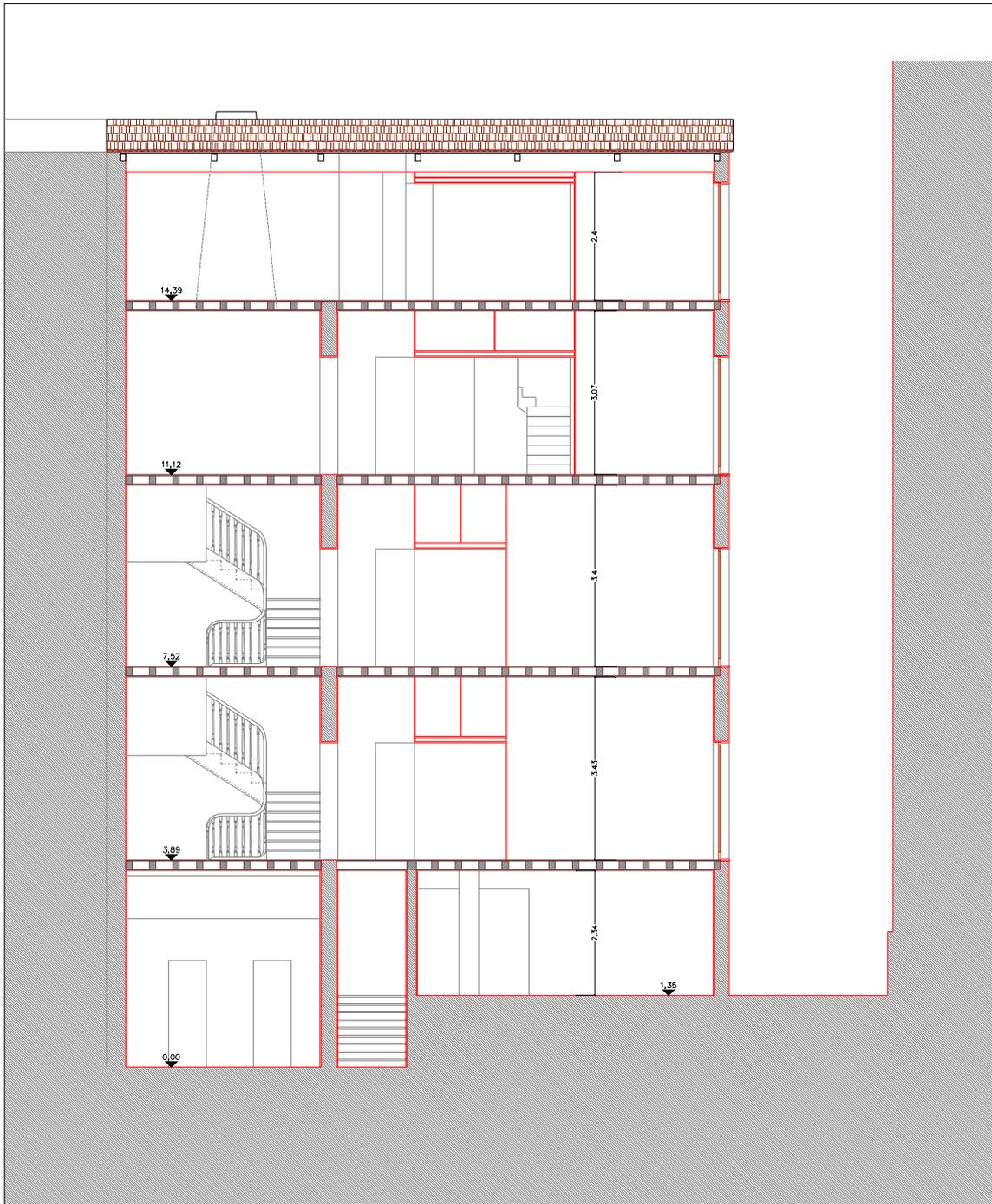




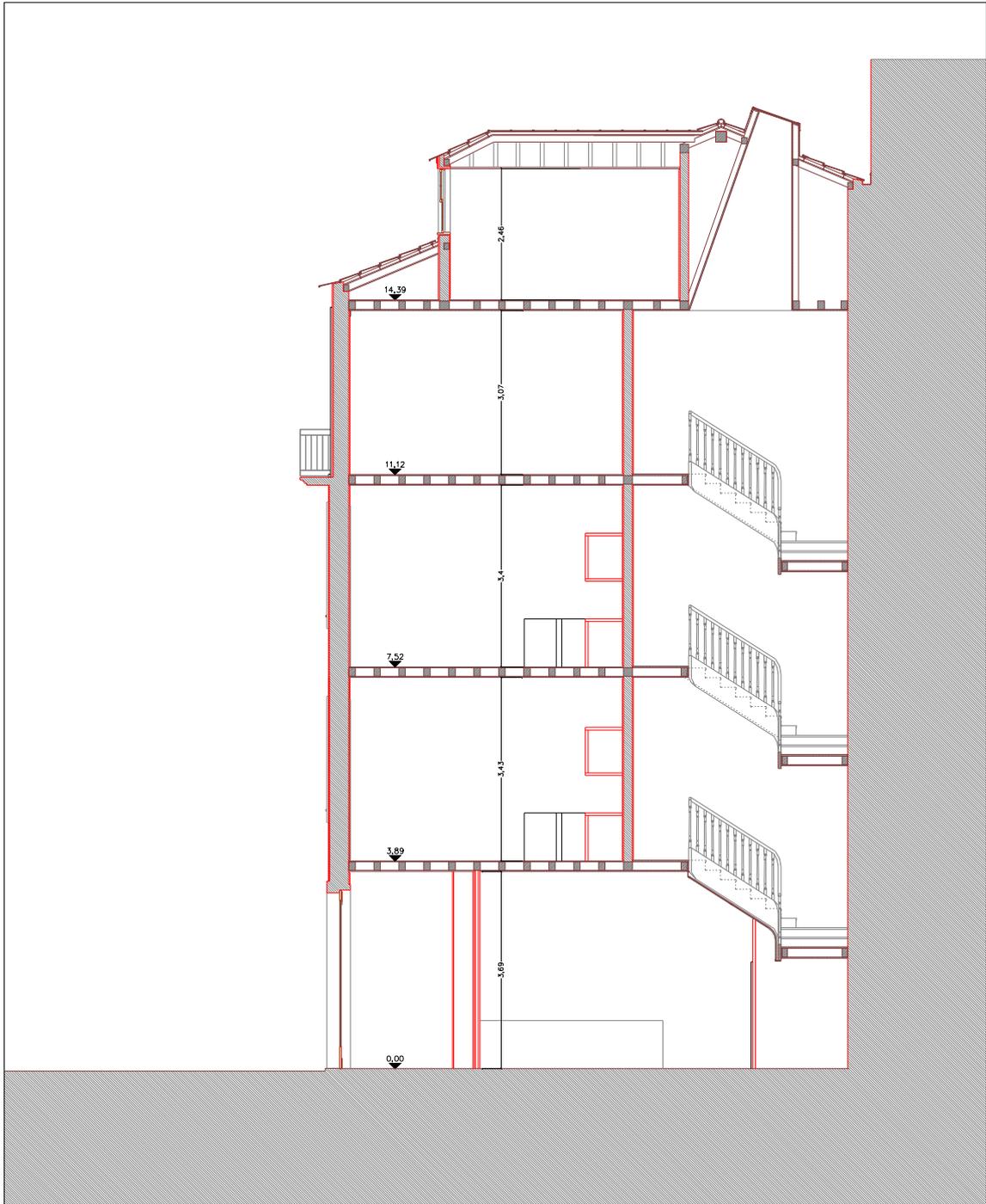
# Corte Transversal AA'



# Corte Longitudinal BB'



# Corte Transversal CC'



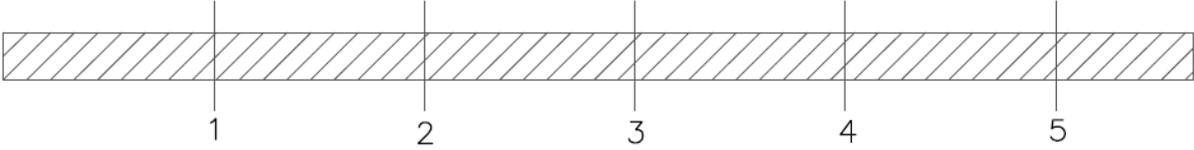
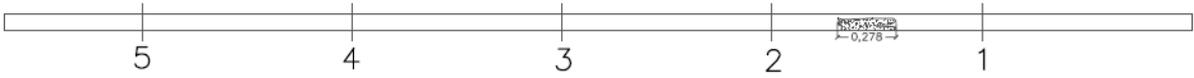
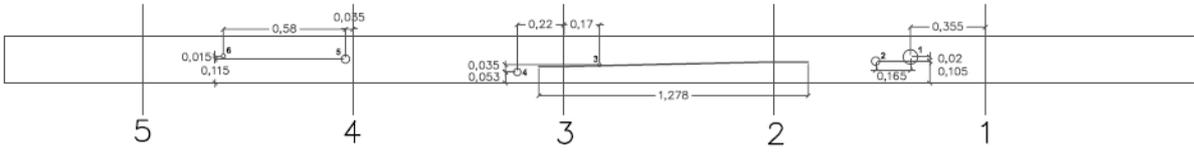
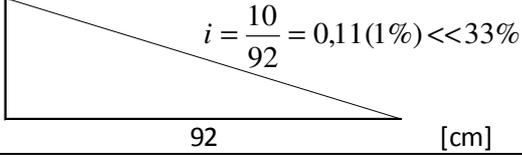
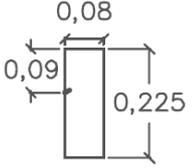


**A2**

**FICHAS DE CLASSIFICAÇÃO  
VISUAL**



FICHA DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL		
VIGA N.º	VP13	
SECÇÃO ( $b \times h$ )	$A = 8,0 \times 22,5 \text{ cm}^2$ ; $\ell = 5,65 \text{ m}$	
ESPÉCIE	Casquinha ( <i>Pinus Silvestris</i> L.)	
HUMIDADE RELATIVA	12,6%	
REGISTO FOTOGRÁFICO		
FACE 1	CANTO	FACE 2
NÃO ACESSÍVEL – N/A		
N/A		
N/A		
N/A		
N/A		
N/A		

<b>DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA</b>	
<b>FACE 1</b>	
	
<b>Nota:</b> Face não visível devido à proximidade da parede de fachada.	
<b>CANTO</b>	
	
<b>Nota:</b> Existe perda de cerca de 1 cm de secção na zona assinalada, que se estende por aproximadamente 28 cm.	
<b>FACE 2</b>	
	
<b>ANÁLISE DE DEFEITOS</b>	
<b>NÓS</b>	
<p>Apresenta seis nós na Face 2: <math>\varnothing_1 = 20</math> mm, <math>\varnothing_2 = 25</math> mm, <math>\varnothing_3 = 15</math> mm, <math>\varnothing_4 = 35</math> mm, <math>\varnothing_5 = 40</math> mm e <math>\varnothing_6 = 20</math> mm <math>\rightarrow \frac{\varnothing_4}{b} = \frac{4,0}{8,0} = 0,5 \leq \frac{1}{2}</math></p>	
<b>DESCAIO</b>	
Não apresenta descaio.	
<b>INCLINAÇÃO DO FIO</b>	
<p>Apresenta inclinação do fio a partir dos 4,5 m até ao fim da viga.</p>	
<b>FENDAS</b>	
<p>Face 2:  <math>L_f = 1,278</math> m &gt; 1 m; <math>l_f = 3</math> mm; <math>f = 1</math> cm <math>\rightarrow \frac{f}{h} = \frac{1,0}{22,5} = 0,04 \leq \frac{3}{5}</math></p>	
<b>COMENTÁRIOS</b>	
A viga está bastante fissurada no seu fundo e terá tendência a perder parte da secção inferior, mas as faces encontram-se em bom estado.	
VALIDAÇÃO (CLASSIFICAÇÃO GLOBAL IN SITU)	<b>APROVADA</b>

FICHA DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL		
VIGA N.º	VP14	
SECÇÃO ( $b \times h$ )	$A = 8,0 \times 22,5 \text{ cm}^2$ ; $\ell = 5,56 \text{ m}$	
ESPÉCIE	Casquinha ( <i>Pinus silvestris</i> L.)	
HUMIDADE RELATIVA	12,1%	
REGISTO FOTOGRÁFICO		
FACE 1	CANTO	FACE 2
		
		
		
		
		
		

<b>DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA</b>	
<b>FACE 1</b>	
<b>CANTO</b>	
<b>FACE 2</b>	
<b>ANÁLISE DE DEFEITOS</b>	
<b>NÓS</b>	
<p>Face 1: <math>\varnothing_1 = 15 \text{ mm}</math>, <math>\varnothing_2 = 25 \text{ mm}</math>, <math>\varnothing_3 = 45 \text{ mm}</math> e <math>\varnothing_4 = 25 \text{ mm} \rightarrow \frac{\varnothing_3}{b} = \frac{4,5}{8,0} = 0,56 \cong \frac{1}{2}</math></p> <p>Face 2: <math>\varnothing_1</math> e <math>\varnothing_2 = 15 \text{ mm}</math>.</p>	
<b>DESCAIO</b>	
Não apresenta descaio.	
<b>INCLINAÇÃO DO FIO</b>	
Inclinação do fio desprezável.	
<b>FENDAS</b>	
Apresenta algumas fendas de secagem superficiais sem importância.	
<b>COMENTÁRIOS</b>	
Foi necessário realizar uma limpeza superficial para remover alguma sujeira e em certos locais alguns bolores.	
VALIDAÇÃO (CLASSIFICAÇÃO GLOBAL IN SITU)	<b>APROVADA</b>

FICHA DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL		
VIGA N.º	VP15	
SECÇÃO ( $b \times h$ )	$A = 8,0 \times 22,5 \text{ cm}^2$ ; $\ell = 5,46 \text{ m}$	
ESPÉCIE	Casquinha ( <i>Pinus silvestris</i> L.)	
HUMIDADE RELATIVA	11,5%	
REGISTO FOTOGRÁFICO		
FACE 1	CANTO	FACE 2
		
		
		
		
		
		

<b>DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA</b>	
<b>FACE 1</b>	
<b>CANTO</b>	
<b>FACE 2</b>	
<b>ANÁLISE DE DEFEITOS</b>	
<b>NÓS</b>	
<p>Face 1: <math>\varnothing_1 = 15 \text{ mm}</math>, <math>\varnothing_2 = 20 \text{ mm}</math>, <math>\varnothing_3 = 25 \text{ mm} \rightarrow \frac{\varnothing_3}{b} = \frac{2,5}{8,0} = 0,31 \leq \frac{1}{2}</math></p> <p>Face 2: <math>\varnothing_1 = 15 \text{ mm}</math> e <math>\varnothing_2 = 25 \text{ mm}</math>, são nós agrupados <math>\rightarrow \frac{\varnothing_2}{b} = \frac{1,5 + 2,5}{8,0} = 0,5 = \frac{1}{2}</math></p> <p><math>\varnothing_3 = 15 \text{ mm}</math>, <math>\varnothing_4 = 10 \text{ mm}</math> e <math>\varnothing_5 = 20 \text{ mm}</math>, são nós isolados.</p>	
<b>DESCAIO</b>	
Não apresenta descaio.	
<b>INCLINAÇÃO DO FIO</b>	
Inclinação do fio desprezável.	
<b>FENDAS</b>	
Não apresenta fendas relevantes.	
<b>COMENTÁRIOS</b>	
Foi necessário realizar uma limpeza superficial para remover alguma sujidade e em certos locais alguns bolores.	
VALIDAÇÃO (CLASSIFICAÇÃO GLOBAL IN SITU)	<b>APROVADA</b>

FICHA DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL		
VIGA N.º	VP16	
SECÇÃO ( $b \times h$ )	$A = 8,0 \times 22,5 \text{ cm}^2$ ; $\ell = 5,48 \text{ m}$	
ESPÉCIE	Casquinha ( <i>Pinus silvestris</i> L.)	
HUMIDADE RELATIVA	10,5%	
REGISTO FOTOGRÁFICO		
FACE 1	CANTO	FACE 2
		
		
		
		
		
		

<b>DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA</b>	
<b>FACE 1</b>	
<b>CANTO</b>	
<b>FACE 2</b>	
<b>ANÁLISE DE DEFEITOS</b>	
<b>NÓS</b>	
<p>Face 1: <math>\varnothing_1 = 15 \text{ mm}</math> e <math>\varnothing_2 = 30 \text{ mm} \rightarrow \frac{\varnothing_2}{b} = \frac{3,0}{8,0} = 0,38 \leq \frac{1}{2}</math></p> <p>Face 2: <math>\varnothing_1 = 15 \text{ mm}</math>, <math>\varnothing_2 = 20 \text{ mm}</math>, <math>\varnothing_3 = 30 \text{ mm}</math>.</p>	
<b>DESCAIO</b>	
Não apresenta descaio.	
<b>INCLINAÇÃO DO FIO</b>	
Inclinação do fio desprezável.	
<b>FENDAS</b>	
<p>Face 1:</p> <p><math>L_f = 2,61 \text{ m}</math>; <math>l_f = 5 \text{ mm}</math>; <math>f = 2 \text{ cm} \rightarrow \frac{f}{h} = \frac{2,0}{22,5} = 0,09 \leq \frac{3}{5}</math></p> <p>A fenda atinge a sua profundidade máxima em redor da secção dos 5 m (2 cm), prolongando-se até à zona do apoio. Observa-se que a profundidade da fenda vai diminuindo até atingir cerca de 0,5 cm, o mesmo acontece à dimensão da sua abertura.</p>	
<b>COMENTÁRIOS</b>	
A viga apresenta na sua face inferior alguns pregos de grande dimensão junto à secção dos três metros. Observa-se a presença de manchas de humidade.	
VALIDAÇÃO (CLASSIFICAÇÃO GLOBAL IN SITU)	<b>APROVADA</b>

FICHA DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL		
VIGA N.º	VP17	
SECÇÃO ( $b \times h$ )	$A = 8,0 \times 22,5 \text{ cm}^2$ ; $\ell = 5,45 \text{ m}$	
ESPÉCIE	Casquinha ( <i>Pinus silvestris</i> L.)	
HUMIDADE RELATIVA	10,0%	
REGISTO FOTOGRÁFICO		
FACE 1	CANTO	FACE 2
		
		
		
		
		
		

<b>DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA</b>	
<b>FACE 1</b>	
<b>CANTO</b>	
<b>FACE 2</b>	
<b>ANÁLISE DE DEFEITOS</b>	
<b>NÓS</b>	
<p>Face 1: <math>\varnothing_1 = 20 \text{ mm}</math> e <math>\varnothing_2 = 40 \text{ mm} \rightarrow \frac{\varnothing_2}{b} = \frac{4,0}{8,0} = 0,5 \leq \frac{1}{2}</math></p> <p>Face 2: <math>\varnothing_1 = 20 \text{ mm}</math>, <math>\varnothing_2 = 35 \text{ mm}</math>, <math>\varnothing_3 = 15 \text{ mm}</math> e <math>\varnothing_4 = 40 \text{ mm}</math>.</p>	
<b>DESCAIO</b>	
Não apresenta descaio.	
<b>INCLINAÇÃO DO FIO</b>	
A inclinação do fio é desprezável.	
<b>FENDAS</b>	
Não apresenta fendas visíveis.	
<b>COMENTÁRIOS</b>	
A peça aparenta estar em bom estado de conservação.	
VALIDAÇÃO (CLASSIFICAÇÃO GLOBAL IN SITU)	<b>APROVADA</b>

FICHA DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL		
VIGA N.º	VP18	
SECÇÃO ( $b \times h$ )	$A = 8,0 \times 22,5 \text{ cm}^2$ ; $\ell = 5,40 \text{ m}$	
ESPÉCIE	Casquinha ( <i>Pinus silvestris</i> L.)	
HUMIDADE RELATIVA	11,5%	
REGISTO FOTOGRÁFICO		
FACE 1	CANTO	FACE 2
		
		
		
		
		
		

<b>DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA</b>	
<b>FACE 1</b>	
<b>CANTO</b>	
<b>FACE 2</b>	
<p><b>Nota:</b> A zona da viga assinalada não é visível por se encontrar parcialmente obstruída em cerca de 30 cm pela viga adjacente do edifício vizinho.</p>	
<b>ANÁLISE DE DEFEITOS</b>	
<b>NÓS</b>	
<p>Face 2: <math>\varnothing_1 = 20 \text{ mm}</math>, <math>\varnothing_2 = 15 \text{ mm}</math>, <math>\varnothing_3 = 30 \text{ mm}</math>, <math>\varnothing_4 = 20 \text{ mm}</math> e <math>\varnothing_5 = 20 \text{ mm}</math>.</p> $\rightarrow \frac{\varnothing_3}{b} = \frac{3,0}{8,0} = 0,38 \leq \frac{1}{2}$	
<b>DESCAIO</b>	
<p>Não apresenta descaio.</p>	
<b>INCLINAÇÃO DO FIO</b>	
<p>Inclinação do fio desprezável.</p>	
<b>FENDAS</b>	
<p>Face 1:</p> <p><math>L_f = 2,15 \text{ m}</math>; <math>l_f = 3 \text{ mm}</math>; <math>f = 2 \text{ cm} \rightarrow \frac{f}{h} = \frac{2,0}{22,5} = 0,09 \leq \frac{3}{5}</math></p>	
<b>COMENTÁRIOS</b>	
<p>Observam-se algumas fissuras pouco expressivas nas faces da viga. A viga aparenta estar em bom estado de conservação.</p>	
VALIDAÇÃO (CLASSIFICAÇÃO GLOBAL IN SITU)	<b>APROVADA</b>

FICHA DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL		
VIGA N.º	VP19	
SECÇÃO ( $b \times h$ )	$A = 8 \times 22,5 \text{ cm}^2$ ; $\ell = 5,36 \text{ m}$	
ESPÉCIE	Casquinha ( <i>Pinus silvestris</i> L.)	
HUMIDADE RELATIVA	11,0%	
REGISTO FOTOGRÁFICO		
FACE 1	CANTO	FACE 2
		
		
		
		
		
		

<b>DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA</b>	
<b>FACE 1</b>	
<b>CANTO</b>	
<b>FACE 2</b>	
<p><b>Nota:</b> A zona da viga assinalada não é visível por se encontrar parcialmente obstruída em cerca de 15 cm pela viga adjacente do edifício vizinho.</p>	
<b>ANÁLISE DE DEFEITOS</b>	
<b>NÓS</b>	
<p>Face 1: <math>\varnothing_1 = 30 \text{ mm}</math>, <math>\varnothing_2 = 40 \text{ mm}</math> e <math>\varnothing_3 = 30 \text{ mm} \rightarrow \frac{\varnothing_2}{b} = \frac{4,0}{8,0} = 0,5 \leq \frac{1}{2}</math></p> <p>Face 2: <math>\varnothing_1</math> e <math>\varnothing_2 = 20 \text{ mm}</math>.</p>	
<b>DESCAIO</b>	
Não apresenta descaio.	
<b>INCLINAÇÃO DO FIO</b>	
Inclinação do fio desprezável.	
<b>FENDAS</b>	
<p>Face 1:</p> <p><math>L_f = 1,24 \text{ m}</math>; <math>l_f = 3 \text{ mm}</math>; <math>f = 1 \text{ cm} \rightarrow \frac{f}{h} = \frac{1,0}{22,5} = 0,04 \leq \frac{3}{5}</math></p>	
<b>COMENTÁRIOS</b>	
Observa-se a presença de algumas fissuras com pouco comprimento nas faces das vigas.	
VALIDAÇÃO (CLASSIFICAÇÃO GLOBAL IN SITU)	<b>APROVADA</b>

FICHA DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL		
VIGA N.º	VP20	
SECÇÃO ( $b \times h$ )	$A = 8,0 \times 22,5 \text{ cm}^2$ ; $\ell = 5,35 \text{ m}$	
ESPÉCIE	Casquinha ( <i>Pinus silvestris</i> L.)	
HUMIDADE RELATIVA	12,0%	
REGISTO FOTOGRÁFICO		
FACE 1	CANTO	FACE 2
		
		
		
		
		
		

<b>DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA</b>	
<b>FACE 1</b>	
<b>CANTO</b>	
<b>FACE 2</b>	
<p><b>Nota:</b> A viga encontra-se parcialmente obstruída em cerca de 10 cm pela viga adjacente do edifício vizinho.</p>	
<b>ANÁLISE DE DEFEITOS</b>	
<b>NÓS</b>	
<p>Face 2: <math>\varnothing_1 = 20 \text{ mm}</math>, <math>\varnothing_2 = 15 \text{ mm}</math> e <math>\varnothing_3 = 20 \text{ mm} \rightarrow \frac{\varnothing_1}{b} = \frac{2,0}{8,0} = 0,25 \leq \frac{1}{2}</math></p>	
<b>DESCAIO</b>	
Não apresenta descaio.	
<b>INCLINAÇÃO DO FIO</b>	
Inclinação do fio desprezável.	
<b>FENDAS</b>	
Não foram observadas fendas relevantes.	
<b>COMENTÁRIOS</b>	
<p>A viga está em bom estado de conservação. Observam-se algumas fissuras menores junto às zonas de apoio.</p>	
VALIDAÇÃO (CLASSIFICAÇÃO GLOBAL IN SITU)	<b>APROVADA</b>

FICHA DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL		
VIGA N.º	VP21	
SECÇÃO ( $b \times h$ )	$A = 8,0 \times 22,0 \text{ cm}^2$ ; $\ell = 5,31 \text{ m}$	
ESPÉCIE	Casquinha ( <i>Pinus silvestris</i> L.)	
HUMIDADE RELATIVA	11,0%	
REGISTO FOTOGRÁFICO		
FACE 1	CANTO	FACE 2
		
		
		
		
		
		

<b>DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA</b>	
<b>FACE 1</b>	
<b>CANTO</b>	
<b>FACE 2</b>	
<p><b>Nota:</b> Início da viga não visível por estar parcialmente tapada pela viga da habitação adjacente em cerca de 8 cm.</p>	
<b>ANÁLISE DE DEFEITOS</b>	
<b>NÓS</b>	
<p>Face 2: <math>\varnothing_1 = 20 \text{ mm} \rightarrow \frac{\varnothing_1}{b} = \frac{2,0}{8,0} = 0,25 \leq \frac{1}{2}</math></p>	
<b>DESCAIO</b>	
<p>Não apresenta descaio.</p>	
<b>INCLINAÇÃO DO FIO</b>	
<p>Não apresenta inclinação do fio assinalável.</p>	
<b>FENDAS</b>	
<p>Não apresenta fendas visíveis.</p>	
<b>COMENTÁRIOS</b>	
<p>Viga em muito bom estado, observando-se apenas um conjunto razoável de pequenas fissuras na parte inferior da secção final da viga, junto ao apoio.</p>	
VALIDAÇÃO (CLASSIFICAÇÃO GLOBAL IN SITU)	<b>APROVADA</b>

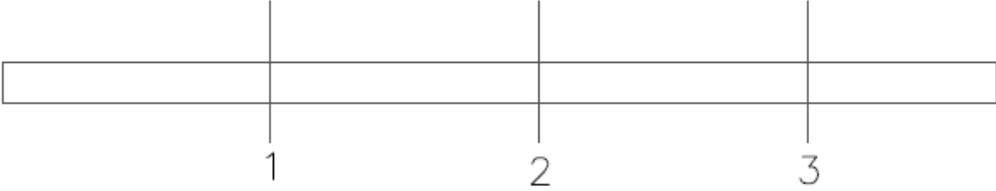
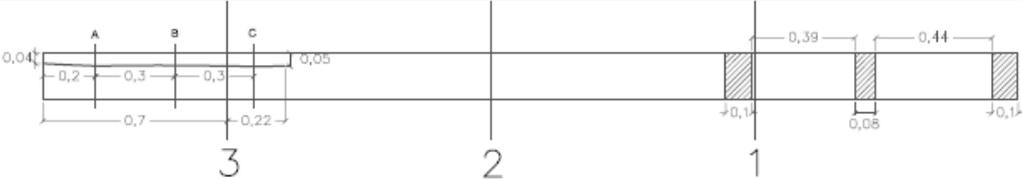
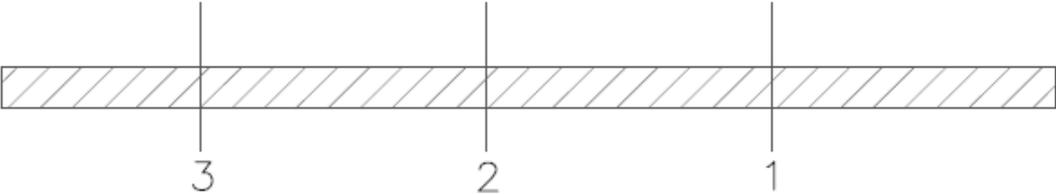
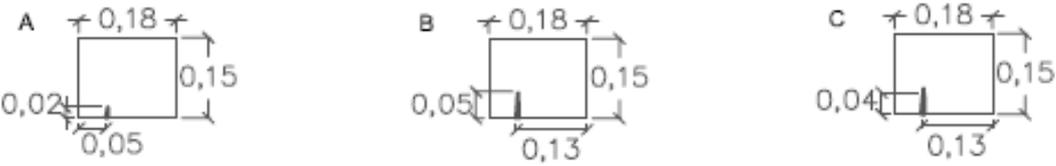
FICHA DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL		
VIGA N.º	VP22	
SECÇÃO ( $b \times h$ )	$A = 8,0 \times 22,5 \text{ cm}^2$ ; $\ell = 5,24 \text{ m}$	
ESPÉCIE	Casquinha ( <i>Pinus silvestris</i> L.)	
HUMIDADE RELATIVA	14,6%	
REGISTO FOTOGRÁFICO		
FACE 1	CANTO	FACE 2
		
		
		
		
		N/A
	-	N/A

<b>DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA</b>	
<b>FACE 1</b>	
<b>CANTO</b>	
<b>FACE 2</b>	
<p><b>Nota:</b> Troços finais da viga não visíveis devido à proximidade da parede de alvenaria.</p>	
<b>ANÁLISE DE DEFEITOS</b>	
<b>NÓS</b>	
<p>Face1: Isolados – <math>\varnothing_1 = 30</math> mm e <math>\varnothing_4 = 25</math> mm.</p> <p>Agrupados – <math>\varnothing_2 = 30</math> mm e <math>\varnothing_3 = 70</math> mm <math>\rightarrow \frac{\varnothing_3}{b} = \frac{3,0 + 7,0}{8,0} = 1,25 &gt; \frac{3}{4}</math> KO!</p> <p>Canto: <math>\varnothing_1 = 30</math> mm e <math>\varnothing_2 = 50</math> mm <math>\rightarrow \frac{\varnothing_4}{b} = \frac{5,0}{8,0} = 0,63 &gt; \frac{1}{2}</math> KO!</p> <p>Face 2: <math>\varnothing_1 = 60</math> mm, <math>\varnothing_2 = 40</math> mm, <math>\varnothing_3 = 30</math> mm, <math>\varnothing_4 = 20</math> mm <math>\rightarrow \frac{\varnothing_4}{b} = \frac{6,0}{8,0} = 0,75 &gt; \frac{1}{2}</math> KO!</p>	
<b>DESCAIO</b>	
Não apresenta descaio.	
<b>INCLINAÇÃO DO FIO</b>	
Inclinação do fio desprezável.	
<b>FENDAS</b>	
Não observáveis fendas relevantes.	
<b>COMENTÁRIOS</b>	
<p>A viga apresenta uma grande quantidade de nós, sendo alguns de grande diâmetro, ultrapassando os valores máximos permitidos pela proposta de classificação.</p> <p>Presença de pregos de grande dimensão cravados na zona de canto (dois pregos junto à secção 1, um prego junto à secção 4 e outro no troço final da viga, junto ao apoio).</p>	
VALIDAÇÃO (CLASSIFICAÇÃO GLOBAL IN SITU)	<b>REJEITADA</b>

FICHA DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL		
VIGA N.º	VPE5	
SECÇÃO ( $b \times h$ )	$A = 18,0 \times 19,0 \text{ cm}^2$ (média); $\ell = 3,70 \text{ m}$	
ESPÉCIE	Castanho ( <i>Castanea sativa</i> Mill)	
HUMIDADE RELATIVA	15,6%	
REGISTO FOTOGRÁFICO		
FACE 1	CANTO	FACE 2
		
		
		
		
		
		

<b>DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA</b>	
<b>FACE 1</b>	
<p><b>Nota:</b> Apresenta uma reentrância aproximadamente rectangular em grande parte da secção no troço 0-1 (de 3,5 até 1 cm) e ao longo de toda a secção na zona 3 (de 2,5 cm).</p>	
<b>CANTO</b>	
<p><b>Nota:</b> Observa-se a irregularidade da viga na zona da secção 1, assim como são notáveis as reentrâncias assinaladas na Face 1. Realça-se o buraco existente no troço 1-2 em forma aproximada de cone invertido.</p>	
<b>FACE 2</b>	
<p><b>Nota:</b> Visualiza-se a forma aproximada de cone invertido do buraco com largura de base cerca de 5 cm e topo de 12 cm.</p>	
<b>ANÁLISE DE DEFEITOS</b>	
<b>NÓS</b>	
Face 1: $\varnothing_1 = 20 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$	
<b>DESCAIO</b>	
Não apresenta descaio.	
<b>INCLINAÇÃO DO FIO</b>	
Inclinação do fio desprezável.	
<b>FENDAS</b>	
Face 1:	
$L_f=1,06 \text{ m}; l_f=3 \text{ mm}; f=2 \text{ cm} \rightarrow \frac{f}{b} = \frac{2,0}{18,0} = 0,1(1) \leq \frac{3}{5}$	
<b>COMENTÁRIOS</b>	
<p>Viga bastante escurecida, de secção irregular e que demonstra sinais de ser um reaproveitamento. Apresenta manchas antigas de humidade e bolores, facilmente removíveis com limpeza superficial. Observa-se no troço 1-2 da viga uma extensa fenda de cerca de 2 cm de profundidade na Face 1 e um buraco de dimensão razoável na Face 2. De realçar que esta viga dá apoio às vigas do patamar da escada em conjunto com a viga 12. Existe um prego de grande dimensão cravado na zona de canto no troço 2-3 m e que é atravessado por uma fenda de abertura pequena e aparentemente pouco profunda (0,8 cm).</p>	
VALIDAÇÃO (CLASSIFICAÇÃO GLOBAL IN SITU)	<b>REJEITADA</b>

FICHA DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL		
VIGA N.º	VPE6	
SECÇÃO ( $b \times h$ )	$A = 18,0 \times 15,0 \text{ cm}^2$ (média); $\ell = 3,70 \text{ m}$	
ESPÉCIE	Castanho ( <i>Castanea sativa</i> Mill)	
HUMIDADE RELATIVA	18,2%	
REGISTO FOTOGRÁFICO		
FACE 1	CANTO	FACE 2
		N/A
		N/A
		N/A
		N/A
-		N/A
-		N/A

<b>DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA</b>	
<b>FACE 1</b>	
	
<p><b>Nota:</b> Nada de relevante a assinalar.</p>	
<b>CANTO</b>	
	
<p><b>Nota:</b> Apresenta dois pregos de dimensões razoáveis, um entre cada secção de encontro das vigas da escada. Observam-se bastantes orifícios desde o início da viga até aos 2,5 m, com origem provável no antigo estuque, que encontrava suporte nesta zona.</p>	
<b>FACE 2</b>	
	
<p><b>Nota:</b> Face não visível porque se trata de uma viga de suporte da escada.</p>	
<b>ANÁLISE DE DEFEITOS</b>	
<b>NÓS</b>	
Não apresenta nós visíveis.	
<b>DESCAIO</b>	
Não apresenta descaio.	
<b>INCLINAÇÃO DO FIO</b>	
Inclinação do fio desprezável.	
<b>FENDAS</b>	
Canto:	
$L_f=0,92 \text{ m} \rightarrow l_{fA}=3 \text{ mm}; f_A=2 \text{ cm}; l_{fB}=3 \text{ mm}; f_B=5 \text{ cm} \rightarrow \frac{f_B}{h} = \frac{5,0}{18,0} = 0,28 \leq \frac{3}{5}; l_{fC}=3 \text{ mm}; f_C=4 \text{ cm}.$	
	
<b>COMENTÁRIOS</b>	
<p>Dificuldade de acesso à viga devido à proximidade do poço das escadas.                  Encontra-se bastante escurecida, com manchas de humidade e apresenta bolores superficiais que foram removidos em grande parte através de uma pequena limpeza superficial.                  Apresenta uma fissura com espessura e dimensão relevante até ao apoio, na zona final da viga.</p>	
VALIDAÇÃO (CLASSIFICAÇÃO GLOBAL IN SITU)	<b>APROVADA</b>



