



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Civil**



**Avaliação de estruturas de madeira em serviço**  
**Caso de estudo da Ermida da Ascensão de Cristo**

**DIANA FILIPA DA PALMA DE ARAÚJO**

**(Licenciada em Engenharia Civil)**

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na área de especialização de  
edificações

Orientador:

Doutora Maria Dulce e Silva Franco Henriques, Prof. Adjunto (ISEL)

Júri:

Presidente: Doutor Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva, Prof. Adjunto Convidado  
(ISEL)

Vogais:

Doutora Maria Dulce e Silva Franco Henriques, Prof. Adjunto (ISEL)

Doutora Helena Maria Pires Cruz, Investigadora Principal (LNEC)

**Dezembro de 2015**



## Resumo

O processo de reabilitação dos edifícios tem evoluído ao longo do tempo, e como tal têm-se desenvolvido estratégias para que a intervenção a executar seja o menos intrusiva possível, de modo a conservar ao máximo a identidade do edifício. Para avaliar corretamente as estruturas de madeira, tema desenvolvido neste trabalho, é necessário conhecer não só o material e as suas características, como também os agentes a que está sujeita, como as técnicas de inspeção e diagnóstico adequadas a cada caso. Neste trabalho será avaliada a estrutura do teto do último piso da Ermida da Ascensão de Cristo, situada no Bairro Alto, em Lisboa. Foi seguido um plano de inspeção para a estrutura, que foi submetida a várias técnicas de avaliação, nomeadamente a inspeção visual, a determinação do teor em água com o humidímetro, e o uso de equipamentos de medida da resistência à penetração, *Pilodyn*® e de resistência à perfuração, *IML Resi*®. A utilização de métodos tradicionais e não tradicionais de ensaio permitiu a conjugação de informações, e a obtenção de resultados, de forma não destrutiva.

Foi feito um levantamento da normalização existente, que permite a classificação da estrutura, tanto em termos qualitativos, de classes de qualidade, como quantitativos, de classes de resistência. Foi seguida a norma nacional NP 4305:1995, na medição e avaliação de apenas três parâmetros: nós, inclinação do fio e taxa de crescimento. Foi avaliada também a extensão dos danos sofridos pela estrutura devido ao ataque de caruncho, e determinada a perda de secção. Pela norma EN 338:2009, foram determinados os valores característicos, que, seguindo a metodologia da norma EN 1995:2004, permitiram avaliar o comportamento da estrutura à deformação (estado limite de utilização), à flexão simples e ao corte (estados limite últimos).

O uso simplificado da norma NP 4305:1995 para madeira nova permite a adaptação a uma estrutura de madeira em serviço, caracterizando-a e avaliando-a, de forma a se poder determinar soluções para a sua reabilitação.

**Palavras-chave:** reabilitação, técnicas de inspeção e diagnóstico, classificação visual, classe de qualidade, classe de resistência, normas, secção crítica, secção residual, degradação biológica, inspeção visual.



## Abstract

The buildings rehabilitation process has been evolving over time, and as such strategies have been developed so that the intervention to perform is minimally intrusive, in order to preserve as much of the building's identity as possible. To correctly evaluate the wooden structures, theme developed in this work, it is necessary to know not only the material and their characteristics, but also the agents that it is subjects to, and the inspection and diagnosis techniques appropriate to each case. In this work, there will be an assessment of the last floor structure of the Ermida da Ascensão, situated in Bairro Alto, in Lisbon. An inspection plan to the structure was followed, which was submitted to several techniques of evaluation, namely visual inspection, moisture content determination with moisture meter, and the use of devices to measure the penetration resistance, *Pilodyn*®, and the drill resistance, *IML Resi*®. The use of traditional methods and non-traditional methods allowed the conjugation of information and obtaining results, in a non-destructive way.

A survey of the existent normalization was done, which allows the classification of the structure, in both qualitative terms, quality classes, as quantitative, resistance classes. The Portuguese standard NP 4305:1995 was followed, in measurement and evaluation of only three parameters: knots ratio, slope of grain and growth rate. The extension of the damage suffered by the structure due to the attack of beetles *Hylotrupes bajulus* and *Anobium punctatum* was also evaluated, and was determined the loss of section. By the standard EN 338:2009, the characteristic values were determined, which, following the methodology of standard EN 1995:2004, allowed the evaluation of the structure behavior to pure bending, deflection and shear.

The simplified use of standard NP 4305:1995 to new wood, allows its adaptation to an in service wooden structure, characterizing and evaluating it, in order to be able to determine solutions to its rehabilitation.

**Key words:** rehabilitation, inspection and diagnosis methods, visual classification, quality class, strength class, standards, critical section, residual section, biological degradation, visual inspection.



## **Agradecimentos**

Algumas linhas nunca serão suficientes para expressar a minha gratidão a todos aqueles que contribuíram para o sucesso deste trabalho.

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha família; à minha mãe que sempre acreditou, mesmo quando eu não o fiz, e me apoiou neste processo, bem como pela preciosa ajuda na execução da parte prática deste trabalho; ao meu pai, que demonstrou sempre o seu orgulho, preocupação e compreensão e ao meu irmão, por todas as vezes que me lembrou das minhas capacidades, com um sorriso.

Um agradecimento especial à minha orientadora de tese, a Doutora Maria Dulce e Silva Franco Henriques pelo apoio que me prestou ao longo do desenvolvimento deste trabalho, devido ao seu sólido conhecimento na área. Por todos os conselhos, opiniões, correções e ajudas, o meu muito obrigado, pois só assim este trabalho passou de uma ideia em papel para algo concreto.

Ao Francisco, pela paciência, atenção, carinho e orgulho desmedido que sempre demonstrou. À Raquel, minha colega e amiga nesta jornada, que partilhou comigo as alegrias e os fracassos, e me entendeu, quando ninguém mais parecia fazê-lo. À Inês, Naim e José, colegas e amigos, por todos os momentos passados juntos nestes últimos anos.

Às senhoras Isabel, Lurdes e Manuela, funcionárias da paróquia de Santa Catarina, pela amabilidade e pelos esclarecimentos que me forneceram sobre a Ermida.

Ao Dr. Miguel Pestana, do Instituto nacional de investigação Agrária e Florestal, pelos esclarecimentos e disponibilidade.

Por último, agradeço à comunidade do ISEL, docente e não docente, que me permitiu concluir, mais do que a minha formação, o meu sonho.



# Índice

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento e Justificação do Tema .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.3. Estrutura da Tese.....	4
<b>2. Madeira como componente estrutural .....</b>	<b>7</b>
2.1. Características da madeira.....	7
2.1.1. Vantagens e desvantagens do uso da madeira como elemento estrutural .....	8
2.2. Estrutura da Madeira .....	8
2.2.1. Estrutura Física.....	8
2.2.2. Composição Química .....	10
2.2.3. Defeitos e singularidades da madeira .....	11
2.2.3.1. Nós .....	11
2.2.3.2. Inclinação do fio.....	12
2.2.3.3. Fendas.....	12
2.2.3.4. Empenos .....	13
2.2.3.5. Descaio .....	14
2.2.3.6. Taxa de crescimento.....	14
2.2.3.7. Medula.....	14
2.2.3.8. Bolsas de Resina e Casca inclusa .....	15
2.3. Propriedades físicas.....	15
2.3.1. Higroscopicidade.....	15
2.3.2. Anisotropia .....	17
2.3.3. Massa Volúmica.....	18
2.3.4. Retração e Inchamento .....	19
2.4. Propriedades Mecânicas .....	19
2.4.1. Comportamento à Tração .....	20
2.4.2. Comportamento à Compressão .....	20
2.4.3. Comportamento à Flexão estática .....	21
2.4.4. Comportamento ao Corte .....	21
2.4.5. Módulo de Elasticidade.....	21
2.5. Classificação da madeira .....	22
2.5.1. Classes de Qualidade.....	22
2.5.2. Classes de Resistência.....	23
2.5.3. Relação entre Classes de Resistência e Classes de Qualidade .....	26
2.5.4. Principais Normas de Ensaio.....	26

<b>3.</b>	<b>Agentes de Degradação.....</b>	<b>29</b>
3.1.	Introdução.....	29
3.2.	Agentes Abióticos .....	29
3.2.1.	Água .....	30
3.2.2.	Sol .....	30
3.2.3.	Fogo.....	31
3.2.4.	Agentes Físicos e Mecânicos .....	32
3.2.5.	Agentes Químicos .....	33
3.3.	Agentes Bióticos .....	33
3.3.1.	Fungos xilófagos .....	34
3.3.1.1.	Fungos cromogêneos e bolores .....	34
3.3.1.2.	Fungos de podridão ou lenhívoros .....	35
3.3.2.	Insetos xilófagos.....	37
3.3.2.1.	Térmitas.....	37
3.3.2.2.	Caruncho .....	39
3.3.2.3.	Xilófagos marinhos .....	41
3.4.	Referências normativas .....	42
3.4.1.	Classes de Risco.....	42
3.4.2.	Classes de durabilidade natural.....	44
3.4.3.	Exigência de classes de durabilidade natural face às classes de risco biológico. 46	
<b>4.</b>	<b>Técnicas de inspeção e diagnóstico de estruturas de madeira em serviço.....</b>	<b>49</b>
4.1.	Objetivo da inspeção e do diagnóstico de estruturas em serviço .....	49
4.2.	Métodos Tradicionais .....	49
4.2.1.	Humidímetro .....	50
4.2.2.	Inspeção visual .....	51
4.3.	Métodos não tradicionais .....	54
4.3.1.	Métodos Globais de ensaio .....	54
4.3.1.1.	Raios-X.....	54
4.3.1.2.	Ultra-sons .....	54
4.3.1.3.	Termografia.....	57
4.3.1.4.	Georradar.....	58
4.3.2.	Métodos Locais de ensaio .....	58
4.3.2.1.	<i>Pilodyn</i> ® .....	58
4.3.2.2.	Resistógrafo.....	60
4.3.2.3.	Boroscopia.....	63
<b>5.</b>	<b>Classificação visual de elementos estruturais de madeira em serviço .....</b>	<b>65</b>
5.1.	Âmbito da classificação .....	65

5.2.	Critérios de medição de defeitos e anomalias .....	66
5.2.1.	Identificação da espécie .....	66
5.2.2.	Nós .....	68
5.2.3.	Inclinação do fio.....	69
5.2.4.	Taxa de crescimento.....	70
5.2.5.	Degradação biológica e secção residual.....	70
5.2.6.	Secção crítica.....	72
5.2.7.	Apoios e Ligações .....	72
5.3.	Classes de qualidade e de resistência .....	73
5.3.1.	Pinho Bravo.....	73
5.3.2.	Pitespaine .....	73
5.3.3.	Carvalho .....	74
5.3.4.	Castanho.....	74
<b>6.</b>	<b>Apresentação do caso de estudo e metodologia aplicada.....</b>	<b>77</b>
6.1.	Descrição do edifício.....	77
6.1.1.	Localização.....	77
6.1.2.	História.....	77
6.1.3.	Caracterização estrutural e arquitetónica .....	78
6.2.	Identificação e caracterização da zona de estudo .....	79
6.2.1.	Caracterização geométrica .....	80
6.3.	Inspeção e diagnóstico .....	82
6.3.1.	Métodos Tradicionais.....	83
6.3.1.1.	Inspeção visual .....	83
6.3.1.2.	Humidímetro .....	83
6.3.2.	Métodos não tradicionais .....	84
6.3.2.1.	Resistógrafo.....	84
6.3.2.2.	<i>Pilodyn</i> ® .....	85
6.4.	Apresentação de resultados .....	86
6.4.1.	Classe de Risco.....	86
6.4.2.	Teor em água.....	86
6.4.3.	Avaliação individual dos elementos.....	87
6.5.	Conclusões .....	98
6.5.1.	Degradação biológica.....	98
6.5.2.	Informações obtidas por meios auxiliares de diagnóstico .....	99
6.5.3.	Ligações .....	99
6.5.4.	Considerações sobre a inspeção visual.....	99
<b>7.</b>	<b>Aplicação da norma NP 4305:1995 ao caso de estudo.....</b>	<b>101</b>

7.1.	Considerações iniciais .....	101
7.2.	Apresentação de resultados .....	101
7.2.1.	Nós .....	102
7.2.2.	Taxa de Crescimento .....	103
7.2.3.	Inclinação do fio .....	104
7.3.	Conclusões .....	105
<b>8.</b>	<b>Verificação da estrutura aos estados limite .....</b>	<b>107</b>
8.1.	Considerações gerais .....	107
8.1.1.	Valores adotados para o sistema estrutural .....	108
8.2.	Estados Limite Últimos .....	110
8.2.1.	Flexão Simples .....	111
8.2.2.	Corte .....	113
8.3.	Estados Limite de Utilização .....	114
8.3.1.	Deformação .....	114
8.4.	Apresentação de resultados .....	116
8.4.1.	Estados Limites Últimos .....	116
8.4.1.1.	Flexão Simples .....	116
8.4.1.2.	Corte .....	117
8.4.2.	Estados Limites de Utilização .....	117
8.4.2.1.	Deformação .....	117
8.4.3.	Conclusões Globais .....	118
<b>9.</b>	<b>Considerações finais .....</b>	<b>121</b>
9.1.	Conclusões .....	121
9.2.	Objetivos atingidos e condicionantes .....	127
9.3.	Propostas de desenvolvimento futuro .....	128
	<b>Referências .....</b>	<b>129</b>
	Referências bibliográficas .....	129
	Referências normativas .....	136
	<b>Anexos .....</b>	<b>139</b>
	Capítulo 6. Apresentação do caso de estudo e metodologia aplicada .....	141
6.A	.Resultados obtidos com o <i>Pilodyn</i> ® .....	141
	Capítulo 7. Aplicação da norma NP 4305:1995 ao caso de estudo .....	143
7.A	Atribuição de classes de qualidade parcial- Nós .....	143
7.A.1	Vigas direitas .....	143
7.A.2	Vigas Esquerdas .....	145
7.A.3	Viga Central .....	147
7.A.4	Cálculo justificativo .....	148

7.B	Atribuição de classes de qualidade parcial- Inclinação do fio.....	153
7.B.1	Vigas esquerdas.....	153
7.B.2	Vigas direitas.....	153
7.B.3	Vigas centrais .....	153
7.C	Atribuição de classes de qualidade parcial – Taxa de crescimento.....	154
7.D	Fichas de classe de qualidade.....	155
Capítulo 8.	Verificação da estrutura aos estados limites.....	183
8.A	Características da madeira.....	183
8.A.1	Por atribuição de classes de resistência C18 e C35 aos elementos da estrutura	183
8.A.2	Com massa volúmica obtida experimentalmente .....	185
8.B	Valores de carregamento.....	187
8.B.1	Por atribuição de classes de resistência C18 e C35 aos elementos da estrutura	187
8.B.2	Com massa volúmica obtida experimentalmente .....	188
8.C	Estado limite último .....	189
8.C.1	Flexão simples com sobrecarga por atribuição de classes de resistência C18 e C35 aos elementos da estrutura .....	189
8.C.2	Corte com sobrecarga por atribuição de classes de resistência C18 e C35 aos elementos da estrutura.....	191
8.C.3	Flexão simples sem sobrecarga por atribuição de classes de resistência C18 e C35 aos elementos da estrutura .....	192
8.C.4	Corte sem sobrecarga por atribuição de classes de resistência C18 e C35 aos elementos da estrutura.....	195
8.C.5	Flexão simples com sobrecarga e com massa volúmica obtida experimentalmente .....	196
8.C.6	Corte com sobrecarga e com massa volúmica obtida experimentalmente	198
8.C.7	Flexão simples sem sobrecarga e com massa volúmica obtida experimentalmente .....	199
8.C.8	Corte sem sobrecarga e com massa volúmica obtida experimentalmente.	201
8.D	Estado limite de utilização .....	202
8.D.1	Deformação com sobrecarga por atribuição de classes de resistência C18 e C35 aos elementos da estrutura.....	202
8.D.2	Deformação sem sobrecarga por atribuição de classes de resistência C18 e C35 aos elementos da estrutura.....	203
8.D.3	Deformação com sobrecarga e com massa volúmica obtida experimentalmente .....	204
8.D.4	Deformação sem sobrecarga e com massa volúmica obtida experimentalmente .....	205
<b>Peças desenhadas.....</b>		<b>207</b>

Lista de Peças desenhadas.....	208
--------------------------------	-----

# Índice de Figuras

## 1. Introdução

Figura 1.1- Estrutura de teto em estudo .....	4
---	---

## 2. Madeira como componente estrutural

Figura 2.1- Planos e eixos de uma peça de madeira (Machado et al., 2009, a).....	9
Figura 2.2- Estrutura do Tronco de uma árvore (Miller, 2010).....	10
Figura 2.3- Tipos de Empeno (NP 4305:1995) .....	13
Figura 2.4- Descaio de canto e na face da peça (LNEC, 1997, b).....	14
Figura 2.5- Variação de dimensões tendo em conta o eixo e o teor em água (LNEC, 1997, c)..	16
Figura 2.6- Fases de Secagem da madeira (LNEC, 1997, c).....	16
Figura 2.7- Curvas de Equilíbrio Higrotérmico da madeira (Machado et al., 2009, a; Carvalho, 1997) .....	17
Figura 2.8- Ábaco de Kollman (Carvalho, 1997).....	18
Figura 2.9- Influência do corte na retração das peças (Miller, 2010).....	19
Figura 2.10- Tração paralela às fibras (Benoit, 2008).....	20
Figura 2.11- Comportamento da madeira limpa de defeitos aos diversos esforços, valores médios (Machado <i>et al.</i> , 2014).....	20
Figura 2.12- Compressão paralelas às fibras (Benoit, 2008).....	21
Figura 2.13- Flexão estática (Benoit,2008).....	21

## 3. Agentes de Degradação

Figura 3.1- Madeira envelhecida.....	31
Figura 3.2- Esquema de Combustão da madeira (Miller, 2010) .....	32
Figura 3.3-Fungos Cromogéneos (Nunes, 2013) .....	35
Figura 3.4- Podridão Branca .....	35
Figura 3.5- Podridão castanha / cúbica .....	36
Figura 3.6- Podridão mole (Henriques, 2014, b).....	37
Figura 3.7- Presença de térmitas subterrâneas em território continental- a vermelho, e pormenor de presença no distrito de Lisboa- (Cândido, 2013 citando Nunes & Nobre, 2006).....	38
Figura 3.8- Aspeto folheado da madeira atacada por térmitas .....	39
Figura 3.9- Galeria de terra de térmitas (Cruz & Nunes, 2008).....	39
Figura 3.10- Camada superficial da madeira atacada por caruncho (Henriques, 2011).....	40
Figura 3.11- Secção residual estimada (Cruz, 2011).....	41
Figura 3.12- Xilófago marinho da espécie <i>Teredo</i> e degradação respetiva (autor desconhecido) .....	42

Figura 3.13- Xilófago marinho da espécie <i>Limnória</i> (autor desconhecido).....	42
<b>4. Técnicas de inspeção e diagnóstico de estruturas de madeira em serviço</b>	
Figura 4.1-Humidímetro de resistência elétrica (Machado, 2014).....	50
Figura 4.2- Humidímetro de contato ou capacitância (Cândido, 2013) .....	50
Figura 4.3- Ferramentas para inspeção.....	53
Figura 4.4-Sylvatest Duo (Collar, 2009).....	56
Figura 4.5-Pundit, em ensaio indireto no sentido das fibras (Sousa <i>et al.</i> , 2014) .....	57
Figura 4.6- Infiltração detetada por termografia (Mendonça, 2005).....	57
Figura 4.7- Ensaio de Georradar (Mesquita, 2011).....	58
Figura 4.8- <i>Pilodyn</i> ® 6J .....	59
Figura 4.9- Posicionamento correto do aparelho (TerraGes) .....	59
Figura 4.10- Aspeto da broca do Resistógrafo (Júnior, 2006) .....	61
Figura 4.11- Área resistográfica.....	62
Figura 4.12- Resistógrafo IML Resi .....	62
Figura 4.13- Utilização do Resistógrafo IML Resi em elementos horizontais .....	63
Figura 4.14- Observação boroscópica ( <i>in</i> Observação boroscópica de cavidades e fendas).....	64
<b>5. Classificação visual de elementos estruturais de madeira em serviço</b>	
Figura 5.1-Desenvolvimento do cone do nó no interior ou exterior da secção .....	69
Figura 5.2-Desenvolvimento de nós, e secções (NP 4305:1995).....	69
Figura 5.3- Método de medição da inclinação do fio (NP 4305:1995).....	70
Figura 5.4- Medição da Taxa de crescimento (NP 4305:1995).....	70
<b>6. Apresentação do caso de estudo e metodologia aplicada</b>	
Figura 6.1- Localização da Ermida (retirado do Google Earth).....	77
Figura 6.2- Aspeto da fachada principal da Ermida.....	78
Figura 6.3- Altares laterais em Madeira.....	79
Figura 6.4- Painel em azulejo na Ermida .....	79
Figura 6.5- Zona a inspecionar.....	80
Figura 6.6- Sistema de "Orelha derrabada" (adaptado de Costa, 1971).....	81
Figura 6.7- Humidimetro de contacto .....	84
Figura 6.8- Resistógrafo IML Resi PD 500 .....	84
Figura 6.9- Utilização do <i>Pilodyn</i> ® .....	85
Figura 6.10- <i>Pilodyn</i> ®	Figura 6.11-Escala do aparelho..... 86
Figura 6.12- Profundidade de <i>Pilodyn</i> ® Vs Massa volúmica (Henriques, 2011) .....	86

Figura 6.13- Perfil resistográfico da viga 3 esquerda.....	88
Figura 6.14- Degradação biológica na viga 4direita .....	89
Figura 6.15- Perfil resistográfico da zona degradada da viga 4E.....	90
Figura 6.16- Perfil resistográfico da zona sã da viga 4E.....	90
Figura 6.17- Degradação e alteração das condições do apoio.....	91
Figura 6.18- Perfil resistográfico da viga 6 esquerda.....	92
Figura 6.19-Degradação na viga 7esquerda .....	92
Figura 6.20- Perfil resistográfico da viga 7 esquerda.....	93
Figura 6.21- Alteração cromática na viga 7 direita .....	93
Figura 6.22- Perfil Resistográfico da viga 7 direita .....	94
Figura 6.23- Perfil resistográfico na zona degradada da viga 7 direita .....	94
Figura 6.24- Perfil Resistográfico da viga 8 esquerda .....	95
Figura 6.25- Degradação da viga 8direita .....	95
Figura 6.26- Perfil resistográfico da zona degradada da viga 8 direita .....	96
Figura 6.27- Perfil resistográfico da zona sã da viga 8direita .....	96
Figura 6.28- Orifícios de saída de caruncho pequeno .....	96
Figura 6.29- Distribuição da degradação biológica nas vigas .....	98
Figura 6.30- Parte de madeira destacada da viga .....	100

## **7. Aplicação da norma NP 4305:1995 ao caso de estudo**

Figura 7.1-Ficha de Inspeção visual (adaptado de Branco & Sousa, 2014;Cândido, 2013) .....	101
Figura 7.2- Nó em zona de degradação.....	103
Figura 7.3- Apoios das vigas na alvenaria .....	104

## **8. Verificação da estrutura aos estados limite**

Figura 8.1- Esquema de apoios e distribuição de cargas.....	110
Figura 8.2- Momento máximo na viga.....	111
Figura 8.3- Distribuição de tensões tangenciais.....	113
Figura 8.4- Deformação numa viga simplesmente apoiada (BS EN 1995-1-1:2004).....	115
Figura 8.5- Verificação do E.L.Utilização- Deformação .....	118



# Índice de quadros

## 2. Madeira como componente estrutural

Quadro 2.1- Espécies de madeira mais usadas na construção em Portugal (Machado <i>et al.</i> , 2009, a).....	7
Quadro 2.2- Vantagens e Desvantagens do uso da madeira.....	8
Quadro 2.3- Classes de Qualidade (NP 4305:1995).....	23
Quadro 2.4- Classes de resistência e Valores característicos (Adaptado de EN 338:2009).....	25
Quadro 2.5- Atribuição de classe de resistência da madeira de pinho bravo à classe de qualidade (Adaptado de NP EN 1912:2013) .....	26
Quadro 2.6- Atribuição de classe de resistência da madeira de casquinha à classe de qualidade (Adaptado de NP EN 1912:2013) .....	26

## 3. Agentes de degradação

Quadro 3.1- Classes de risco biológico, condições de teor em água e agentes biológicos que poderão atacar madeira em serviço (adaptado de EN 335:2013) .....	43
Quadro 3.2- Classes de risco e classes de serviço (Adaptado de Nunes, 2013).....	44
Quadro 3.3- Durabilidade natural e impregnabilidade do Pinho bravo (extraído de NP EN 350-2:2008) .....	45
Quadro 3.4- Classes de impregnabilidade da madeira (adaptado de NP EN 350-2:2008).....	45
Quadro 3.5- Classes de durabilidade mínimas para fungos lenhívoros em função das classes de risco (NP EN 460:1995).....	47

## 4. Técnicas de inspeção e diagnóstico de estruturas de madeira em serviço

Quadro 4.1- Vantagens e Desvantagens do ensaio de Ultrassons.....	56
Quadro 4.2- Especificações técnicas do <i>Pilodyn</i> ® (adaptado de TerraGes - Pilodyn para avaliação de madeira <i>in situ</i> ).....	60

## 5. Classificação visual de elementos estruturais de madeira em serviço

Quadro 5.1- Identificação visual das espécies mais comuns em Portugal (adaptado de Machado <i>et al.</i> , 2009, a).....	68
Quadro 5.2- Classificação do Pinho bravo (adaptado de NP 4305:1995).....	73
Quadro 5.3- Classes de Qualidade do Pitespaine (adaptado de BS 4978:2007) .....	74
Quadro 5.4- Classes de Qualidade do Carvalho (adaptado de Machado <i>et al.</i> , (2009, a) .....	74
Quadro 5.5- Classes de Qualidade do Castanho (adaptado de UNI 11035-2:2003) .....	75

Quadro 5.6- Caracterização mecânica das folhosas segundo a UNI 11035-2:2003 (Branco & Sousa, 2014).....	75
---	----

## **6. Apresentação do caso de estudo e metodologia aplicada**

Quadro 6.1- Caracterização geométrica das vigas esquerdas.....	81
Quadro 6.2- Caracterização geométrica das vigas centrais .....	82
Quadro 6.3- Caracterização geométrica das vigas direitas.....	82
Quadro 6.4- Teor em água com o Humidimetro de contacto .....	87
Quadro 6.5- Teor em água da viga central .....	87
Quadro 6.6- Perda de secção da viga 4E.....	89
Quadro 6.7- Perda de secção da viga 8direita .....	95
Quadro 6.8- Perda de secção da viga central superior, junto ao apoio.....	97
Quadro 6.9- Perda de secção da viga central inferior.....	97
Quadro 6.10- Perda de secção da viga central composta .....	98
Quadro 6.11- Massa volúmica através da correlação com os resultados do <i>Pilodyn</i> ®, segundo Henriques, 2011 .....	99

## **7. Aplicação da Norma NP 4305:1995 ao caso de estudo**

Quadro 7.1- Vigas de Classe de Qualidade E, pela avaliação dos nós.....	103
---	-----

## **8. Verificação da estrutura aos estados limite**

Quadro 8.1- Categoria de Utilização da estrutura (adaptado de NP EN 1991-1-1:2009) .....	109
Quadro 8.2- Sobrecarga na estrutura em estudo (adaptado de NP EN 1991-1-1:2009).....	109
Quadro 8.3- Fator $k_{mod}$ (adaptado de EN 1995:2004) .....	111
Quadro 8.4- Valor de $\gamma_G$ (EN 1995:2004) .....	112
Quadro 8.5- Coeficientes de fluência (adaptado de EN 1995-1-1:2004) .....	115

## **9. Considerações finais**

Quadro 9.1- Resultados finais da avaliação da estrutura.....	125
Quadro 9.2- Resultados finais da avaliação da estrutura (continuação).....	126

## Abreviaturas, siglas e acrónimos

DIN – *Deutsches Institut für Normung* (Instituto alemão de normalização);

EC- Eurocódigo;

$E_L$ - Módulo de elasticidade longitudinal;

$E_R$ - Módulo de elasticidade radial;

$E_T$ - Módulo de elasticidade tangencial;

EN- *European norm* (Norma europeia);

GMT- *Global method test* (Métodos globais de ensaio);

H (%) – Teor em água, em percentagem;

HR- Humidade relativa;

IPQ- Instituto Português da Qualidade

ISEL- Instituto superior de Engenharia de Lisboa;

KAR- *Knot area ratio* (Relação entre a área dos nós e a área da secção);

LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil;

LMT- *Local method test* (Métodos locais de ensaio);

MR- Medida Resistográfica;

NP- Norma Portuguesa;

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico;

PSF- Ponto de saturação das fibras;

TAE – Teor em Água de Equilíbrio;

UNE- *Una Norma Española* (Norma Espanhola);

UNI - *Nazionale Italiano di Unificazione* (Norma Italiana);



## 1. Introdução

### 1.1. Enquadramento e Justificação do Tema

Ao longo dos últimos anos, em que o país atravessou um contexto de crise profunda, a construção civil foi uma das faces afetadas, em que o desemprego aumentou em grande escala, e se observou uma estagnação do mercado imobiliário. Durante muito tempo, as atividades construtivas desenvolveram-se em torno da construção nova, em muito impulsionada pelo êxodo rural e pelo enorme fluxo de imigrantes que entraram no país à procura de melhores condições de vida, que só em 2009 começou a decrescer, sinónimo da recessão económica (Cóias, 2011 citando dados OCDE). Verificou-se assim, um abandono dos centros históricos em prol das periferias urbanas, em que, tomando como exemplo o distrito de Lisboa, se verifica que a freguesia com um maior decréscimo de população é a do Castelo, com uma variação negativa de 39,25%, e a que tem maior crescimento é a de Afonseiro, no Montijo, com uma variação positiva de 103,7% (INE, 2011).

Hoje em dia, o mercado da construção tem de aprender a reinventar-se e fazer face aos novos desafios impostos. A reabilitação urbana é vista como uma hipótese em expansão no país, pois tem apenas 34% da cota de mercado, o que vai contra o verificado na média dos países pertencentes ao Euroconstruct que é de 53% (Cóias, 2011 citando Euroconstruct, 2009).

Portugal tem historicamente, as componentes arquitetónicas e estéticas muito presentes, com planos urbanísticos e técnicas construtivas com centenas de anos, que se podem observar em todo o tipo de edifícios, desde monumentos históricos a edifícios privados. Assim, a reabilitação urbana tem que ter como objetivo o respeito pela arquitetura e estrutura original, minimizando o impacto de novos materiais de construção e utilizando técnicas o menos intrusivas possível, dotando o edifício de soluções construtivas que permitam manter o máximo de características originais, sem pôr em causa a segurança, as solicitações atuais e os novos usos do edifício (Cruz *et al.*, 2015). Segundo o decreto-lei n.º 307/2009, no Regime Jurídico de Reabilitação Urbana, a reabilitação de um edifício pode ser definida por uma *intervenção destinada a conferir adequadas características de desempenho e de segurança funcional, estrutural e construtiva ou a conceder-lhe novas aptidões funcionais, com vista a permitir novos usos ou o mesmo uso com padrões de desempenho mais elevado.*

No plano da Reabilitação, a madeira assume especial importância a nível estrutural, aparecendo nos mais diversos elementos e em edifícios muito antigos. Exemplo disso são os edifícios existentes nos centros urbanos, nomeadamente em Lisboa, em que persistem entre outros tipos, o estilo Pombalino implementado entre o século XVIII e XIX, e o estilo Gaioleiro, comum nos edifícios desde meados do século XIX até aos anos 30 do século XX.

Sendo um material de origem natural, a madeira apresenta anomalias típicas que podem interferir, desde o plano estético, até situações em que a capacidade estrutural dos elementos ou da estrutura total fica comprometida. No caso de edifícios antigos, nem sempre ocorre a degradação dos elementos estruturais em madeira, mas é importante saber intervir e avaliar o estado das peças e se a segurança está garantida. Das várias técnicas usadas em obra, das quais se destacam os ensaios não destrutivos, tem sido negligenciada a avaliação visual das peças, tendo em conta os seus defeitos naturais, deficiências geométricas e degradação. Nesse sentido, a classificação visual de madeira *in situ* apresenta-se não como a solução para todos os casos, mas como mais uma ferramenta de trabalho, que permite de forma não intrusiva proceder a uma avaliação dos elementos.

Atualmente em Portugal,, têm sido empreendidos estudos para tentar promover a prática da avaliação visual de peças de madeira, criando sistemas de avaliação que possam ser usados em obra, tendo em conta normas de outros países com mais experiência na área como a Itália. Torna-se interessante assim estudar e adaptar a informação existente em Portugal para a aplicação em casos práticos, abrindo o caminho para o uso corrente da classificação visual *in situ*. Importa então conhecer quais os fatores e de que forma é que estes influenciam as características mecânicas e respetivas Classes de Qualidade e Classes de Resistência das peças individualmente, e do conjunto estrutural. Desta forma, é possível proceder à avaliação estrutural de cada peça e também do conjunto estrutural, fazendo a verificação, quer em termos de Estados Limite de Utilização, quer de Estados Limite Últimos.

### 1.2. Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é a avaliação de um sistema estrutural de madeira em serviço, pelo estudo e aplicação da norma NP 4305:1995. Tendo em conta as especificidades de uma estrutura de madeira com várias décadas, a norma será aplicada de forma simplificada. A aplicação desta norma permitirá seguidamente atribuir aos elementos da estrutura classes de qualidade e resistência mecânica, e conseqüentemente valores característicos, para que seja possível efetuar a avaliação estrutural dos elementos, com recurso a normas de cálculo, como seja a EN 1995:2004. Será feita a aplicação de todos os conhecimentos alcançados a um caso de estudo, que se irá desenvolver numa estrutura de teto -**Figura 1.1**- de uma Ermida situada em Lisboa.

Como objetivos secundários, têm-se:

- a) Em primeiro lugar, e em contexto introdutório, será necessário abordar o tema das propriedades da madeira, para que mais à frente se possa entender convenientemente como é que estas mesmas propriedades influenciam o comportamento da madeira *in situ* seja esta aplicada numa estrutura nova, ou numa estrutura em serviço, em que as peças podem ter dezenas ou centenas de anos. Assim sendo, serão explicadas várias propriedades da madeira, tomado como exemplo a higroscopicidade, a resistência ao

fogo ou a anisotropia, propriedades existentes em qualquer espécie de madeira, embora interfiram de maneira diferente consoante a mesma. Estas propriedades são intrínsecas da madeira, seja em peças usadas em construção, decoração ou em qualquer outro uso não pertencente à área da Engenharia Civil.

Será necessário identificar quais os fatores que podem condicionar a qualidade das peças, sendo que as componentes geométricas, as ações dos agentes, a espécie de madeira em uso e os defeitos originais das peças serão certamente parte integrante destes fatores. Será determinada qual a influência destes nos elementos de madeira, bem como a sua forma de deteção.

- b) As técnicas de inspeção e diagnóstico serão também estudadas, procedendo-se à divisão entre métodos tradicionais e não tradicionais, sendo que se dará primazia aos primeiros, pela sua simplicidade, e por um deles, a inspeção visual, permitir de forma direta avaliar a estrutura, procedendo-se em seguida à classificação visual da estrutura pela norma já referida. Com o objetivo da menor intrusão na estrutura, não serão abordados os ensaios destrutivos, sendo apenas referidas quais as normas que os regulam.
- c) Relativamente às normas, será feito um levantamento das principais normas que regulam a avaliação de madeiras, tendo em atenção as normas que avaliam qualitativamente e quantitativamente a madeira. Num contexto cada vez mais global, serão estudadas as várias hipóteses dadas pelos vários países europeus neste tema, sendo que apenas será aplicada ao caso de estudo a norma nacional.
- d) O cálculo estrutural também será abordado, tendo em atenção as condicionantes de uma estrutura já em serviço, e serão tidos em conta os estados limite adequados às estruturas, bem como as verificações necessárias, e os parâmetros de cálculo a ter em atenção. No caso de estudo em causa, serão avaliados dois estados limite últimos e um estado limite de utilização. Os dois primeiros serão a verificação da segurança ao corte e à flexão simples, e o último será a verificação da segurança à deformação da estrutura. Importa referir que serão tidas em conta as diminuições de secção presentes na estrutura, devidas à degradação biológica que se desenvolveu nesta.



**Figura 1.1- Estrutura de teto em estudo**

### **1.3. Estrutura da Tese**

Esta dissertação será dividida em nove capítulos e respectivos subcapítulos:

*- Capítulo 1: Introdução*

Neste capítulo será feito o enquadramento e justificação do tema, bem como a determinação de objetivos e a clarificação da estrutura da tese.

*- Capítulo 2: Madeira como Componente estrutural*

Neste capítulo serão identificadas as principais características da madeira enquanto material usado na construção civil, bem como determinadas quais as mais importantes vantagens e desvantagens do seu uso neste setor. Sendo um material natural e com características consequentemente variáveis, serão estudadas as suas composições físicas e químicas, bem como os seus defeitos e singularidades, entendendo-se de que forma interferem na qualidade do material. As propriedades físicas e mecânicas serão também abordadas, caracterizando-se assim o comportamento do material quando exposto às solicitações e ao ambiente.

Por fim, será feito um levantamento das normas nacionais e internacionais, que permitem determinar e relacionar as classes de qualidade e de resistência da madeira, bem como as principais normas de ensaio existentes.

*Capítulo 3: Agentes de Degradação*

Neste capítulo os agentes de degradação serão divididos em fatores abióticos e bióticos. Assim, além da sua identificação, será também abordada a sua importância quando presentes na madeira, e de que forma interagem com ela. Entre danos meramente estéticos e de gravidade estrutural, serão tidos em conta os fatores que potenciam o seu aparecimento, bem como a principal sintomatologia apresentada. No caso dos fatores bióticos, será também explicitado o seu ciclo de desenvolvimento e de que forma poderão ser eliminados.

Neste capítulo serão também abordadas as normas existentes a nível nacional e internacional, que permite estipular as classes de risco biológico e as classes de durabilidade natural, e a norma que permite relacioná-las entre si.

#### *Capítulo 4: Técnicas de Inspeção e Diagnóstico*

Neste capítulo serão abordadas as principais técnicas de inspeção e diagnóstico, tendo em atenção a sua divisão entre técnicas tradicionais, nas quais se insere a inspeção visual das estruturas, que terá uma importância fulcral neste trabalho e por isso ser-lhe-á dada especial relevo, e técnicas não tradicionais. Nas técnicas não tradicionais será ainda feita a divisão entre métodos globais de ensaio e métodos locais de ensaio.

Para os vários métodos, serão explicitadas as formas de funcionamento, os princípios básicos que permitem a obtenção de dados, os dados que se podem obter através do uso destes métodos, e por fim as condicionantes e relações passíveis de existir entre os diferentes métodos, com vista a uma obtenção máxima de informação sobre a estrutura.

#### *Capítulo 5: Classificação visual de elementos estruturais de madeira em serviço*

Neste capítulo será abordada a aplicação das normas à classificação visual dos elementos de madeira em serviço, tendo em conta a avaliação de defeitos e respetivos critérios de medição. Será ainda abordada a atribuição de classes de qualidade às principais espécies de madeira presentes na construção em Portugal, e tida em conta a abordagem defendida por Machado *et al.* (2009,a), que permite aplicar a norma NP 4305:1995 a estruturas de madeira em serviço.

#### *Capítulo 6: Apresentação do caso de estudo e metodologia aplicada*

Neste capítulo será feita a apresentação do caso de estudo, em que serão abordadas a localização, caracterização geométrica, história, entre outros fatores inerentes à edificação em estudo. Serão abordados também os métodos que foram aplicados *in situ*, e identificados quais os parâmetros mais importantes obtidos, como também as principais limitações e condicionantes obtidas. Ainda neste capítulo será feita a apresentação de resultados, que resultará da junção de vários métodos de ensaio tradicionais e não tradicionais, que permitem desta forma identificar não só a espécie da madeira, como os danos infligidos pela degradação biológica ou até a secção residual.

#### *Capítulo 7: Aplicação da norma NP 4305:1995*

Neste capítulo é feita a aplicação da norma NP 4305:1995, em que será empregue a metodologia descrita nesta, e atribuída uma classe de qualidade para cada um dos elementos em estudo, que constituem a estrutura em estudo. Será ainda definida uma ficha de inspeção, para cada elemento, onde serão registadas as informações pertinentes à classificação.

#### *Capítulo 8: Verificação da estrutura aos estados limite*

Neste capítulo será avaliada a segurança a dois estados limites últimos, flexão simples e corte, e a um estado limite de utilização, deformação. Esta avaliação será executada elemento a elemento, tendo em consideração as perdas de secção que possam ter sido registadas nos elementos.

*Capítulo 9: Considerações finais*

Neste capítulo será feito um balanço do trabalho, que permitirá retirar conclusões do seu desenvolvimento, como resultados e obstáculos inerentes, sugerindo propostas de desenvolvimento futuro.

No seguimento dos capítulos já enunciados, serão apresentadas todas as referências bibliográficas, nas quais se apoia este trabalho. Depois, os anexos deste trabalho, que incluem as peças desenhadas, fichas de classificação visual para cada um dos elementos da estrutura, tabelas de cálculo e figuras auxiliares, que permitiram o desenvolvimento e sustentação de resultados deste trabalho. Ao longo do trabalho estarão referidos os anexos que permitiram a obtenção de conclusões para cada um dos temas.

## 2. Madeira como componente estrutural

Neste capítulo serão abordadas diversas características da madeira enquanto material estrutural, e de que forma é que as mesmas poderão influenciar o comportamento das peças, sendo abordados os temas e termos principais que servirão de base à presente tese.

### 2.1. Características da madeira

A madeira é um material de origem biológica, constituído por uma matéria heterogénea e anisotrópica elaborada por um organismo vivo que é a árvore (Cruz & Nunes, 2008). É desde sempre um material de construção por excelência a par da pedra, cal, barro e areia, com lugar em funções estruturais, tendo o exemplo dos estilos pombalinos e gaioleiros, em que a madeira assumia um papel fulcral, tendo sido substituída mais tarde por materiais como o aço e o betão (Appleton, 2011). As várias espécies que podem dividir-se genericamente em dois grandes grupos (Carvalho, 1996):

- Gimnospérmicas ou Resinosas, também conhecidas por Coníferas (*soft wood* na literatura anglo-saxônica), que se caracterizam por manterem a folha em forma de agulha todo o ano, terem uma estrutura anatómica simples, e serem de rápido crescimento (Henriques, 2005). São constituídas por traqueídeos que constituem mais de 90% do lenho e têm como principais funções o transporte de seiva bruta à copa e o suporte da árvore, e parênquima, com a função de armazenar substâncias de reserva como amido e óleo (Carvalho, 1996).
- Angiospérmicas ou Folhosas, também conhecidas como Frondosas (*Hardwood* na literatura anglo-saxônica), que se caracterizam por perderem a folha, de forma achatada e larga, na altura do Outono, e terem um crescimento que varia entre o muito rápido e o muito lento (Henriques, 2005). Com uma estrutura anatómica mais complexa, as funções de suporte são asseguradas por fibras e a função de transporte de seiva assegurada por vasos lenhosos (segmentos vasculares), ambas constituídas por mais tipos de células do que as resinosas (Carvalho, 1996).

Relativamente às espécies de madeira usadas em construção em Portugal, algumas das mais comuns estão presentes no **Quadro 2.1**:

<u>Resinosas</u>	<u>Folhosas</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abeto- branco (<i>Albies alba</i>)</li> <li>• Espruce- europeu (<i>Picea abies</i>)</li> <li>• Larício- europeu (<i>Larix decidua</i>)</li> <li>• Casquinha (<i>Pinus silvestris</i>)</li> <li>• Pitespaine (<i>Pinus palustris</i>)</li> <li>• Pseudotsuga ou Pinho-do-Oregão (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)</li> <li>• Pinho bravo (<i>Pinus pinaster</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Câmbala (<i>Milicia excelsa</i>)</li> <li>• Carvalho roble ou carvalho europeu (<i>Quercus robur</i>)</li> <li>• Eucalipto comum (<i>Eucalyptus globulus</i>)</li> <li>• Gulu-maza (<i>Nauclea diderrichii</i>)</li> <li>• Tali (<i>Erythrophleum ivorenses</i>)</li> <li>• Castanho (<i>Castanea Sativa</i>)</li> <li>• Faia (<i>FagusSylvatica</i>)</li> <li>• Teca (<i>Tectona grandis</i>) e Ipê (<i>Tabebuia spp.</i>)</li> </ul>

**Quadro 2.1- Espécies de madeira mais usadas na construção em Portugal (Machado et al., 2009, a)**

**2.1.1. Vantagens e desvantagens do uso da madeira como elemento estrutural**

Sendo um material de construção por excelência, a madeira apresenta inúmeras propriedades e características positivas que têm vindo a ser aproveitadas na execução de estruturas. Como qualquer material de construção, e especialmente sendo de origem natural, é comum lidar-se com as desvantagens deste material, que têm vindo a ser minoradas pela aprendizagem de boas práticas construtivas, industriais e produtivas. Assim apresentam-se algumas das vantagens e desvantagens do uso da madeira enquanto material estrutural- **Quadro 2.2** (Carvalho,1996):

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo consumo energético na produção face a outros materiais;</li> <li>• Bom isolamento térmico, acústico e elétrico;</li> <li>• Material sustentável e renovável;</li> <li>• Boa relação qualidade- preço;</li> <li>• Boa trabalhabilidade;</li> <li>• Possibilidade de transformação e adaptação de peças;</li> <li>• Boas capacidades mecânicas (tração e compressão),</li> <li>• Facilidade na execução de ligações;</li> <li>• Excelente relação peso próprio/resistência mecânica;</li> <li>• Embora seja combustível, apresenta uma combustão lenta sem perder rapidamente a capacidade de suporte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heterogeneidade;</li> <li>• Anisotropia;</li> <li>• Variabilidade de características dentro das espécies;</li> <li>• Limitação de dimensões;</li> <li>• Variações geométricas com a humidade;</li> <li>• Material combustível;</li> <li>• Vulnerável a ataques biológicos;</li> </ul>

**Quadro 2.2- Vantagens e Desvantagens do uso da madeira**

**2.2. Estrutura da Madeira**

Sendo um material de origem natural, apresenta características que podem variar de espécie para espécie, como também dentro da própria espécie, de elemento para elemento, devido a fatores variáveis como as condições de desenvolvimento ou ambiente em que se insere. Ainda assim, há informação transversal a toda a madeira, informação essa que será dividida em composição química e composição física, para que se possa entender quais as partes constituintes da madeira, e de que forma poderão ser afetadas pelos agentes de degradação no **Capítulo 3** ou que importância têm na classificação visual no **Capítulo 7**, por exemplo.

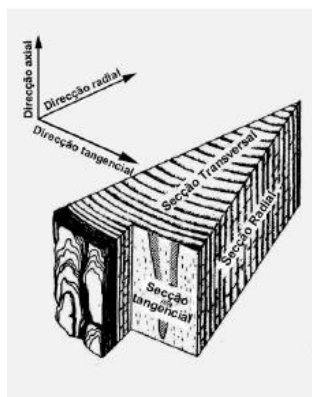
**2.2.1. Estrutura Física**

Para avaliar a composição física da madeira é necessário avaliá-la ao nível da meso estrutura, em que o estudo se processa à escala do anel de crescimento e da madeira limpa de defeitos, ou da macroestrutura, em que a avaliação se realiza ao nível da madeira como material de construção (Machado *et al.* 2009, a). No caso do presente estudo, importa estudar a madeira como elemento de construção, mas numa perspetiva física, é importante fazer-se o estudo a uma escala mais pequena.

É importante identificar os três planos fundamentais da madeira, estando esta em tronco ou já serrada, para que se possa entender não só o desenvolvimento desta, como a distribuição de propriedades, ou fenómenos de retração ou inchamento, condicionados por essa orientação. Assim, tem-se o plano transversal, que é perpendicular ao eixo longitudinal da árvore, o plano radial, que é paralelo ao eixo do tronco e aos raios lenhosos e por último o plano tangencial que

é paralelo ao eixo do troco e tangente aos anéis de crescimento - **Figura 2.1**. A estes planos correspondem os respetivos eixos. (Carvalho, 1996).

Uma árvore é constituída por raiz, tronco e copa, sendo que a raiz tem a função de segurar a árvore ao chão, bem como retirar do solo os sais minerais necessários ao crescimento (Martins, 2009). A copa é constituída por folhas, frutos e ramos, onde se processa a fotossíntese. Por último o troco, onde se conduz por capilaridade a seiva bruta da raiz às folhas e a seiva elaborada das folhas até ao lenho em crescimento (Franco, 2008). Sendo a parte de onde é extraída a madeira para a construção, é o tronco o alvo deste estudo.



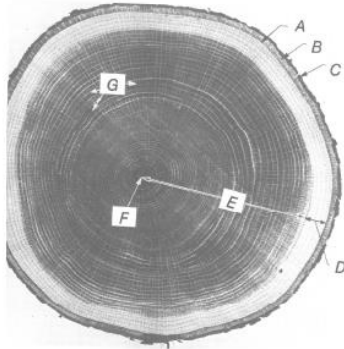
**Figura 2.1-** Planos e eixos de uma peça de madeira (Machado et al., 2009, a)

Relativamente à composição física de um tronco tem-se (Carvalho,1996) -**Figura 2.2**;

- Casca (**Figura 2.2-C**) divide-se em duas partes: Ritidoma e Entrecasco. A primeira é uma camada composta por tecido morto com a função de proteger o tronco. O entrecasco (**Figura 2.2-B**), também designado por líber tem como função a condução de seiva
- Câmbio vascular (**Figura 2.2-A**) - camada muito fina entre a casca e o lenho que tem como função o crescimento da árvore. É constituído por um tecido, merismático, constituído por células, que estão em constante desenvolvimento. Ao desenvolver-se, vai dar origem a novos anéis de crescimento.
- Lenho- parte da mais resistente e de suporte, com aproveitamento para fins industriais. Divide-se em borne, cerne e medula. O borne (**Figura 2.2-D**) situa-se na zona periférica do tronco, com proporções que variam de espécie para espécie, com funções fisiológicas de condução da água e nutrientes no interior da árvore (Machado et al, 2009, a), apresenta em grande parte das vezes uma coloração mais clara que o cerne. O cerne (**Figura 2.2-E**) constitui a zona central do tronco, constituído por células mortas impregnadas de vários minerais, e desenvolve-se entre os 5 e os 30 anos de vida da árvore (Cruz & Nunes, 2008), e, como já referido, tem uma cor mais escura que o borne. Segundo Machado et al. (2009, a), a tonalidade mais escura deve-se ao processo de deposição/ formação de um conjunto de compostos orgânicos (extrativos), que além

da alteração da cor conferem à madeira maior durabilidade natural e menor permeabilidade face ao borne.

- Medula (**Figura 2.2-F**) parte central do tronco, com fracas características mecânicas. É um tecido mole e esponjoso.



A-Câmbio; B- Entrecasco;

C-Casca; D- Borne;

E- Cerne; F- Medula;

G- Raios Lenhosos

Figura 2.2- Estrutura do Tronco de uma árvore (Miller, 2010)

### 2.2.2. Composição Química

Sendo a madeira um material natural e orgânico, é constituída por um aglomerado de células tubulares com formas, comprimentos e constituições variáveis (Branco & Sousa, 2014). A nível da composição química, a escala que interessa estudar é a da microestrutura, em que são identificadas e caracterizadas as células constituintes da madeira.

Segundo Carvalho (1996), a madeira anidra é constituída por três componentes principais, todos poliméricos que asseguram duas funções principais na árvore: suporte e alimentação. A maioria dos constituintes celulares tem o seu comprimento alinhado segundo o eixo longitudinal do tronco, encontrando-se os restantes elementos, que perfazem 5% a 10% do volume total, orientados segundo a direção radial (Machado *et al.*, 2009, a). Podem assim identificar-se:

- Celulose: polímero não ramificado, derivado da glucose (produzida através da fotossíntese) e constituída por hidratos de carbono (carbono, oxigénio e hidrogénio) (Coutinho, 1999), muito estável e que constitui cerca de 40% a 50% da composição da madeira, que se encontra agrupada em unidades designadas por microfibrilas dispostas de forma paralela (Machado *et al.*, 2009, a). É também uma substância esquelética, que devido à sua grande resistência à tração contribui para o complexo da estrutura lenhosa (Henriques, 2011).
- Hemicelulose: polímero não ramificado e tem um peso na constituição de 20% a 30% no caso das resinosas, e de 25% a 40% no caso das folhosas, servindo de suporte à celulose. Possui cadeias moleculares mais curtas que as da celulose, sendo constituída por uma mistura de açúcares como a xilose, manose, glucose, galactose e arabinose (Klock *et al.*, 2005).
- Lenhina: matriz de polímero ramificado amorfo (Machado *et al.*, 2009, a), constitui cerca de 25% a 30% das resinosas e 20% a 25% das folhosas. É uma molécula complexa,

formada por uma malha tridimensional de três moléculas fenólicas (Martins,2009). Com a função de agregação ou cimentação das células entre si, atribuindo rigidez e dureza às paredes celulares, sendo atribuído um papel relevante na durabilidade da madeira (Henriques, 2011).

- Extrativos: compostos orgânicos que constituem 5% a 7% da madeira e que são responsáveis por características como a cor, o odor, o sabor, a durabilidade, a densidade, a higroscopicidade e inflamabilidade (Miller,1999). Algumas destas substâncias são taninos, óleos essenciais, ceras, gorduras, resinas, saponinas, hidrocarbonetos solúveis e matérias corantes entre outros (Martins, 2009). A remoção destes compostos não modifica significativamente as propriedades físico- mecânicas da madeira, situação que já não é verificável nos outros elementos (Machado *et al.* 2009, a).

### **2.2.3. Defeitos e singularidades da madeira**

Sendo a madeira um material de origem natural, é expectável que ao longo do seu desenvolvimento ocorram singularidades que fazem cada elemento possuir características únicas, resultantes de más condições no desenvolvimento da árvore, na altura da serragem ou transformação, ou devidas a ataques biológicos, considerados degradação biológica (NP 180:1962), estes últimos desenvolvidos no **capítulo 3**. Estes defeitos e anomalias têm como consequência a penalização da madeira relativamente às suas características mecânicas, e consequentemente a diminuição do seu valor comercial (NP 180:1962) (Cruz & Nunes, 2008).

No panorama nacional, a norma de classificação de madeira de pinho bravo para estruturas NP 4305:1995, considera como características a avaliar: nós, bolsas de resina, inclinação do fio, fendas, descaio, empeno, a presença de medula e taxa de crescimento. Apesar de algumas destas singularidades não serem defeitos, mas sim particularidades decorrentes das condições do crescimento da árvore, secagem ou serragem, a sua quantificação é importante para a classificação da madeira, refletindo-se na respetiva capacidade mecânica.

#### **2.2.3.1. Nós**

Entende-se por nó a secção simples de massa lenhosa que permite a transição entre o troco principal e um ramo (Branco & Sousa, 2014). De maneira simples, um nó é a inserção da base de um ramo secundário num ramo principal, quase como se fosse a raiz deste, e dirige-se invariavelmente à medula do tronco principal (Miller, 2010)

Um nó afeta a resistência mecânica da madeira de forma muito significativa pois obriga a que as fibras do tronco mudem a sua direção ao contornar o nó, registando-se um desvio do alinhamento do fio, que será tanto maior quanto maior for a dimensão do nó, e consequentemente, a distribuição de tensões altera-se (Machado *et al.*, 2009, a). Relativamente à resistência ao corte e à tração paralela às fibras, a existência de nós irá provocar nas secções problemas de estabilidade, que, funcionando a peça como um todo, irão transmitir-se a toda a peça (Carvalho, 1996). Assim sendo, comparando com outros defeitos passíveis de existir na

peça, os nós são os mais significativos, condicionando a avaliação da peça (Branco & Sousa, 2014).

#### **2.2.3.2. Inclinação do fio**

A inclinação do fio é um defeito da madeira que tanto pode ter origem no corte da árvore, em que se procede a uma má serragem, ou a um defeito interno da madeira, correspondente ao crescimento da árvore (Machado *et al.*, 2009, a). É verificável pelo desnível do fio em relação ao eixo longitudinal da peça, com recuso a um riscador, e segundo a norma NP 4305:1995 e LNEC (1997, b), deve ser medido numa zona limpa de anomalias, pois na zona afetada por nós, a inclinação deficiente do fio já será contabilizada. Segundo Machado *et al.* (2009, a), a inclinação do fio poderá ser avaliada pelo alinhamento dos raios da madeira, manchas de resina, manchas de azulamento provocadas por fungos cromogéneos (em 3.3.1.1) ou fendas de secagem.

Sendo a madeira um material anisotrópico, como explicado em 2.3.2, apresenta valores de resistência diferenciados consoante a direção e sentido da aplicação de forças como explicado em 2.4, o que produz uma redução das propriedades mecânicas para uma mesma peça, consoante a solicitação a que está sujeita (Carvalho, 1996).

#### **2.2.3.3. Fendas**

Entende-se por fendas as discontinuidades no material lenhoso resultantes de secagem excessiva da madeira, má conceção e dimensionamento de peças ou de danos exteriores. (Branco & Sousa, 2014).

Relativamente às fendas de secagem, estas ocorrem quando a peça de madeira se encontra num ambiente que não oferece condições higrotérmicas que permitam à madeira manter o seu teor em água de equilíbrio (Branco & Sousa, 2014). Caracterizam-se por se desenvolverem na direção do fio da madeira, em comprimentos variáveis (Cruz & Nunes, 2008). Devido às modificações no teor em água, a madeira seca em excesso ou torna-se demasiado húmida, o que além de outros problemas como o ataque de agentes biológicos, pode criar tensões internas na peça, o que provoca as fendas (Miller, 1999). Importa referir que estando a madeira sujeita a trocas de humidade com o ambiente, esta anomalia poderá verificar-se em qualquer altura da vida útil das peças, não havendo distinção entre madeira nova ou madeira antiga, desde que o seu teor em água seja alterado. Segundo Branco & Sousa (2014), uma forma relativamente expedita de avaliar a idade de uma fenda é observando os bordos desta, e verificar a existência de pó ou detritos, bem como de uma superfície escurecida provocada pela oxidação da lenhina.

Outra causa frequente do aparecimento de fendas nas peças de uma estrutura em madeira é o seu mau dimensionamento face às cargas a que estará sujeita em serviço, principalmente esforços de corte, resultando em fendas anelares que se caracterizam pelo desligamento entre anéis de crescimento consecutivos.

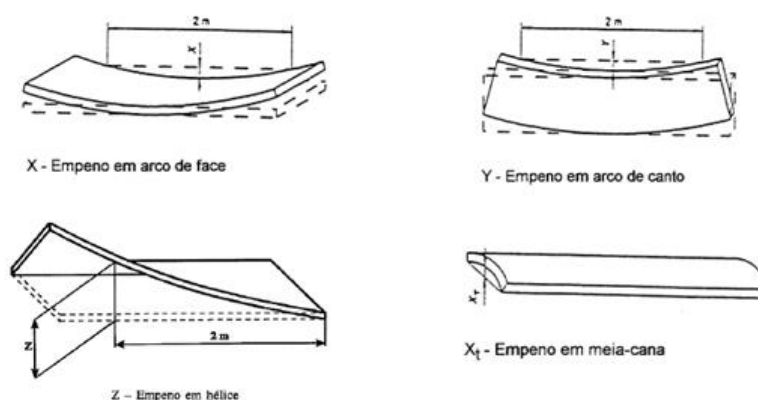
As fendas conduzem sempre a uma redução da secção e podem dividir-se entre repassadas e não repassadas, sendo que a hipótese mais gravosa se observa nas repassadas, pois atravessam a peça entre faces opostas, havendo um desligamento da madeira naquela secção (LNEC, 1997, b). As fendas são particularmente gravosas em situações em as peças estão sujeitas a esforços de corte, tração perpendicular às fibras ou em zonas de ligação a outros elementos, podendo inutilizar as peças, ou como referido acima, provocar uma diminuição da secção útil (NP 180:1962; Carvalho, 1996).

#### 2.2.3.4. Empenos

Tal como as fendas, os empenos são anomalias que resultam sempre da variação do teor em água da madeira, através de condições deficientes de secagem, ou variação da humidade do ambiente envolvente, ao longo da vida útil desta (Carvalho, 1996). Como material anisotrópico que é, apresenta variações de comportamento consoante as direções, e por esse motivo é normal que se desenvolvam empenos ao longo da vida útil da madeira em serviço. Outros motivos que potenciam o empeno das peças devido à variação do teor em água, são o fio torcido, técnicas incorretas de armazenamento bem como má serragem (Carvalho, 1996).

Além dos problemas estéticos que os empenos acarretam, acrescem ainda as dificuldades de colocação em obra bem como os condicionalismos à adaptação das peças nas funções estruturais requeridas (Santos, 2009). Comparando com outros defeitos, os empenos apresentam apenas problemas a nível de aplicação e funcionalidade, não sendo uma anomalia que afete a capacidade resistente da estrutura (Cândido, 2013).

A norma nacional NP 4305:1995 considera quatro tipos de empeno: em arco de canto, arco de face, meia cana e hélice (**Figura 2.3**). A norma italiana UNI 11035-3:2010, apenas considera três tipos de empeno, não considerando o empeno de meia cana.



**Figura 2.3- Tipos de Empeno (NP 4305:1995)**

Segundo Machado *et al.* (2009, a), quando a estrutura é posta em serviço, é natural que ocorram deformações instantâneas devidas a cargas, e a longo prazo se tornem permanentes, fenómeno

que é designado de fluência, e é tido em conta no dimensionamento da estrutura na norma EN 1995:2004, vulgo Eurocódigo 5.

### 2.2.3.5. Descaio

Descaio é um defeito que resulta da serragem da árvore e conseqüente transformação, quando se observa uma falta de secção na peça que se caracteriza por ser uma periferia do tronco. A peça acaba por ficar condicionada em termos de apoios e outras ligações, pois ocorre uma perda de secção transversal (Machado et al., 2009, a). Segundo Cruz e Nunes (2008), a perda de resistência mecânica em secção transversal por diminuição de secção devido ao descaio é geralmente desprezável. Relativamente à medição do descaio da peça, a norma nacional NP 4305:1995 contabiliza dois tipos de descaio: - na face da peça e no canto- **Figura 2.4.**

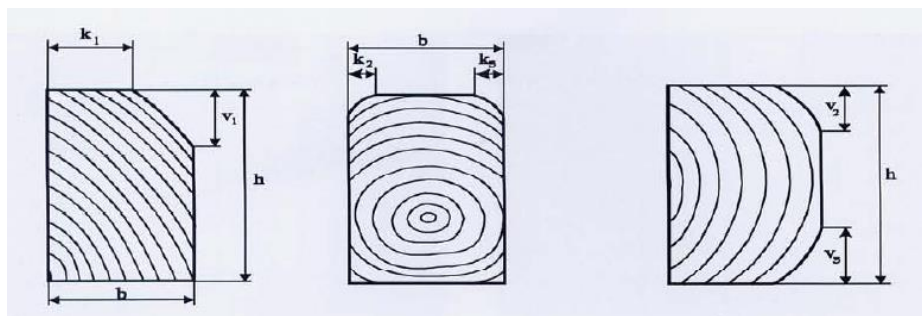


Figura 2.4- Descaio de canto e na face da peça (LNEC, 1997, b)

### 2.2.3.6. Taxa de crescimento

A taxa de crescimento da madeira corresponde à largura média dos anéis de crescimento, em milímetros, medida na linha radial mais comprida que seja possível traçar num dos topos da peça (NP 4305:1995). Embora não sendo um defeito, interfere diretamente com a qualidade da madeira, e é considerado nas normas de classificação.

Os anéis de crescimento caracterizam as estações de crescimento da árvore, sendo que os mais claros e largos correspondem à estação de crescimento Primavera-Verão, enquanto os mais escuros e finos correspondem à estação de crescimento Verão-Outono. Os anéis de crescimento serão tanto mais largos e em menor número quanto maior seja o crescimento da árvore, situação que se verifica quando há abundância de água e de luz solar. Em situação contrária, anéis mais estreitos são sintomáticos de locais mais frios, em que o desenvolvimento das árvores é menor. (Franco, 2008)

Segundo Miller (2010), a taxa de crescimento permite no caso das Resinosas, determinar de forma indireta a massa volúmica, que por sua vez é correlacionável com a resistência e rigidez da madeira.

### 2.2.3.7. Medula

Embora inserida neste capítulo, a medula não é uma anomalia da madeira, mas sim uma parte integrante da árvore, que no caso de existir numa peça serrada pode introduzir condicionantes,

devido ao facto de a zona do lenho em torno da medula, chamada lenho juvenil, ter em geral menor resistência mecânica. A medula é a parte central da árvore, sendo uma parte esponjosa e mole, que apodrece rapidamente (Franco, 2008).

#### **2.2.3.8. Bolsas de Resina e Casca inclusa**

As bolsas de resina são características das espécies resinosas, pois tal como o nome indica trata-se de uma acumulação de resina, segundo a direção do fio, e que pode apresentar uma consistência mais ou menos líquida (Machado et al., 2009, a). Nas espécies folhosas existem bolsas de goma que interferem de forma semelhante às bolsas de resina (Franco,2008).

Relativamente às consequências mecânicas, as bolsas de resina atuam da mesma forma do que os nós, visto que alteram a direção de alinhamento do fio (Machado et al., 2009, a). Também podem ser avaliadas como fendas, sendo aplicados os mesmos critérios de avaliação destas (Machado et al,2009, a; NP 4305:1995).

Quanto à casca inclusa, esta é uma porção de casca presente no interior da madeira que resulta do crescimento defeituoso do fuste da árvore, motivada por traumatismos, serragem incorreta ou outros problemas (Carvalho, 1996).

### **2.3. Propriedades físicas**

A madeira sendo um material natural está sujeita à influência da sua própria natureza e do meio envolvente, o que se vai verificar nas suas propriedades físicas, que para uma mesma espécie vão variar de elemento para elemento. Assim, é importante identificar quais as características mais relevantes da madeira, para se entender de que forma é que estas influenciam a avaliação da madeira.

#### **2.3.1.Higroscopicidade**

Sendo um material de origem biológica e que precisa de água no seu desenvolvimento, a madeira está intrinsecamente ligada à água, sendo que esta fará parte da vida útil da madeira desde a árvore até à aplicação estrutural (Corma, s.d; Carvalho,1996). A quantidade de água presente na madeira pode ser avaliada pelo teor em água da madeira, que é expresso pela quantidade percentual de água face à sua massa anidra, sendo que por isso o teor em água pode ser superior a 100%, em casos muito particulares

Um dos teores em água a ter em conta é o Ponto de Saturação das fibras (PSF), que se verifica quando o teor em água da madeira está entre os 25% e os 30%, com casos que podem baixar até 18% ou atingir valores próximos de 40% (Carvalho, 1996). Quando a madeira seca abaixo desse valor por processos de secagem, dá-se a remoção de moléculas de água do interior das fibras de madeira (Machado *et al.*,2009, a). Esta situação conduz a alterações geométricas, de rigidez e de resistência da madeira, que se podem verificar em diferentes direções, mais ou menos relevantes (Machado *et al.*,2009, a) - **Figura 2.5.**

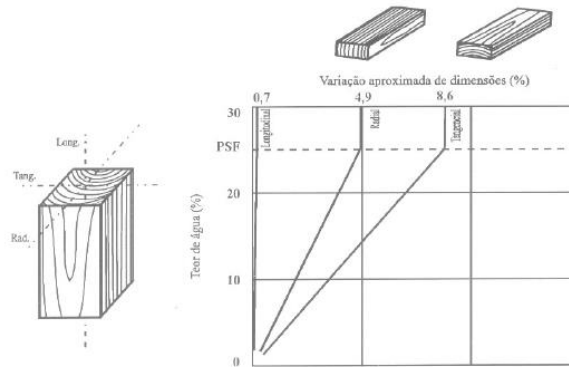


Figura 2.5- Variação de dimensões tendo em conta o eixo e o teor em água (LNEC, 1997, c)

Assim sendo, a água pode estar presente na madeira de três formas distintas que se passam a descrever (LNEC, 1997, c; Miller, 2010; Carvalho, 1996) – **Figura 2.6:**

- Água livre - água que preenche os vazios das peças (LNEC, 1997, c), depois de ser atingido o PSF. A presença e alteração da quantidade desta água na madeira não alteram o volume da madeira, não resultando por isso em movimentos de retração ou inchamento da mesma. Esta água está presente na árvore, e começa a perder-se assim que a árvore é serrada (Neves, 2013), sendo que as suas oscilações são bastante rápidas.
- Água de impregnação ou embebição - água que preenche os espaços entre os constituintes das paredes celulares, através de forças de atração intermolecular ou infiltradas por capilaridade. (Cruz & Nunes, 2009). No pico máximo da água de impregnação, diz-se que a madeira atingiu o PSF, que se situa entre os 25% a 30%, havendo naturalmente variações consoante as espécies. A absorção ou libertação desta água é que irá provocar efeitos de retração ou inchamento nas peças, provocando deste modo alterações no comportamento físico e mecânico das mesmas.
- Água de constituição - água que se encontra quimicamente ligada à substância lenhosa (Henriques, 2011), e que não se altera mesmo que se alterem as condições a que a madeira está sujeita, não se eliminando na secagem. Quando a madeira está anidra apenas apresenta água de constituição (Coutinho, 1999).

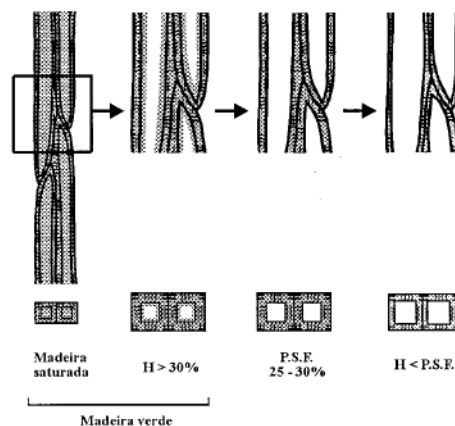


Figura 2.6- Fases de Secagem da madeira (LNEC, 1997, c)

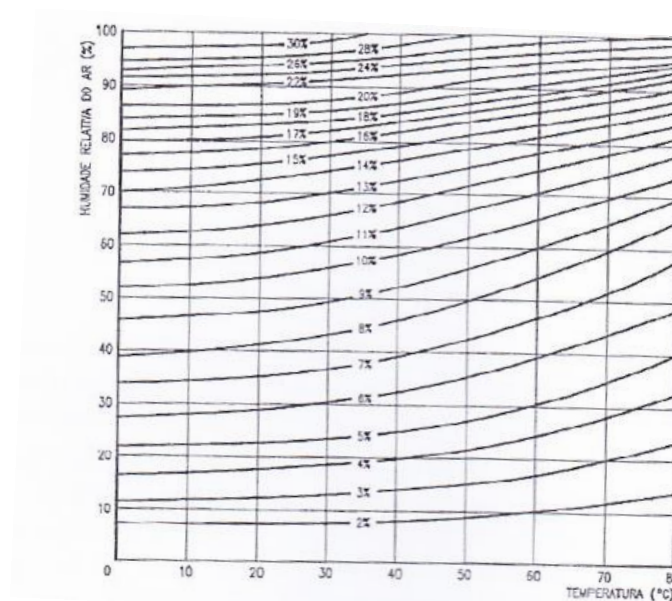
Atendendo a que a madeira está sujeita às alterações de humidade e temperatura do ambiente, é importante aquando da escolha da madeira, que se tenha em conta que a madeira deve ter um teor em água de equilíbrio (TAE) próximo do que se irá encontrar no local onde se vai colocá-la (Machado, 2014). Só assim se poderá minimizar as trocas higroscópicas com o ambiente e consequentemente preservar a estabilidade geométrica e estrutural das peças (Machado, 2014). São utilizadas isocurvas que em função da temperatura e humidade relativa do ar permitem determinar as curvas de equilíbrio higrotérmico da madeira (Machado et al., 2009, a; Carvalho, 1996) -**Figura 2.7**.

Segundo LNEC (1997, c) citando NP 614 (1973), o teor em água da madeira num dado momento é determinado por:

$$H(\%) = \frac{\text{peso humido} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} * 100 \quad (2.1)$$

sendo que o peso seco é atingido por secagem a  $103^{\circ}\pm 2^{\circ}$  até se atingir uma massa constante.

A avaliação do teor em água da madeira pode ser realizada com recurso a técnicas não destrutivas com o uso de higrómetros de contacto ou higrómetros de agulhas, estudados no **capítulo 4**.



**Figura 2.7- Curvas de Equilíbrio Higrotérmico da madeira (Machado et al., 2009, a; Carvalho, 1997)**

### 2.3.2. Anisotropia

A anisotropia traduz-se pela diferença de comportamento em diferentes direções do material. Na madeira, resulta da direção do crescimento da árvore, sendo que os planos e eixos referidos em 2.2.1 permitem identificar e quantificar a variabilidade das características (Carvalho, 1997).

### 2.3.3. Massa Volúmica

A massa volúmica é resultado do peso da madeira por unidade de volume. Para o cálculo ser correto, deverá ter-se em conta o teor em água da madeira. Assim, pela NP 616:1973, calcula-se a massa volúmica a H (%) do teor em água, resultando o coeficiente entre a massa do provete pelo volume, em que os valores são determinados com o provete a H (%). A norma estabelece ainda a massa volúmica de referência para um provete de madeira, determinada com um teor em água de 12%.

$$\rho_H = \frac{m_H}{V_H} \left[ \frac{g}{m^3} \right] \quad (2.2)$$

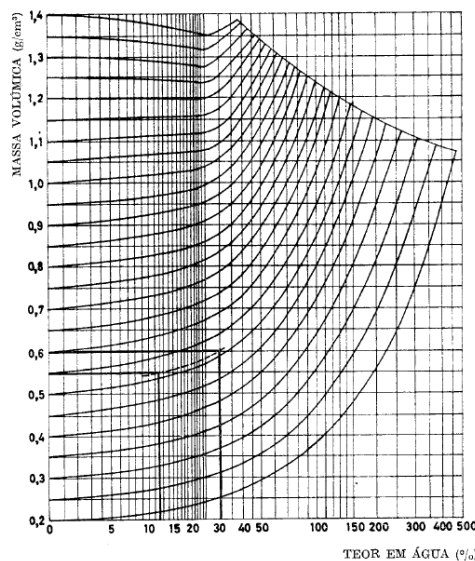
Em que:

$m_H$  – Massa do provete para um determinado valor de H (%);

$\rho_H$ - Massa volúmica de um provete para um determinado valor de H (%);

$V_H$ - Volume do provete para um determinado valor de H (%);

A massa volúmica é um parâmetro importante, permitindo de forma qualitativa determinar parâmetros como resistência mecânica, durabilidade natural, impermeabilidade, que, regra geral, são tanto melhores quanto maior for a massa volúmica (Carvalho, 1997). No sentido inverso, uma maior massa volúmica aumenta a retratilidade e as dificuldades de serragem e laboração da madeira (Carvalho,1997). A massa volúmica resultante da variação do teor em água pode ser determinada de forma expedita com recurso ao ábaco de Kollman – **Figura 2.8** (Carvalho, 1997),



**Figura 2.8- Ábaco de Kollman (Carvalho, 1997)**

### 2.3.4. Retração e Inchamento

Tal como referido em 2.3.1, a madeira é um material sujeito às modificações de humidade e de temperatura do ambiente, que apresenta variações geométricas significativas quando o teor em água presente na madeira desce abaixo do PSF. Quando isto acontece, diminui a presença de água nas fibras, fazendo com que o volume celular diminua, ocorrendo a retração da madeira. Da retração resultam problemas como fendimento e empenos.

Relativamente aos eixos de anisotropia, pode dizer-se que a retração longitudinal é praticamente nula, enquanto a retração tangencial é cerca de duas vezes superior à radial (Machado *et al.*, 2009, a). Para se poder avaliar o comportamento das espécies de madeira face à alteração do teor em água, podem-se consultar tabelas com valores de coeficiente de inchamento/ retração linear unitária, que não é mais que a variação percentual de dimensões quando se dá uma variação de 1% do teor em água (Carvalho, 1997).

Coutinho (1999) defende que para se minimizar os efeitos da retração devem ter-se em conta os seguintes pontos:

- Escolha de madeiras de baixa retratilidade;
- Corte radial das peças – **Figura 2.9**;
- Escolha adequada do teor em água da madeira face ao ambiente em que será inserida;
- Impermeabilização com tintas e vernizes adequados.

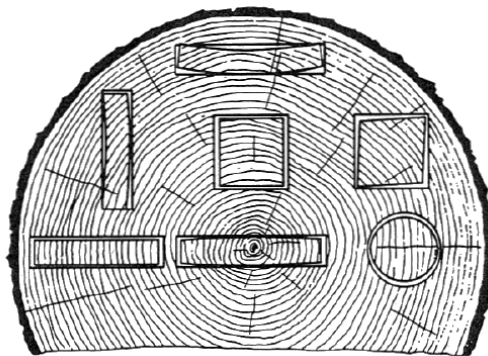


Figura 2.9- Influência do corte na retração das peças (Miller, 2010)

## 2.4. Propriedades Mecânicas

Tal como referido em 2.3.2, a madeira é um material anisotrópico, apresentando por isso comportamentos diferenciados relativamente à direção tida em conta. Assim sendo é importante avaliar o comportamento da madeira face às mais variadas solicitações, para que *in situ* se possa verificar a correta ou não execução das estruturas. Será ainda tema de estudo neste ponto as normas existentes a nível nacional e internacional que permitem classificar a madeira não só em termos de qualidade como também em termos de resistência.

Importa ter ainda em conta que a madeira considerada de uso estrutural nova ou *in situ*, é madeira que apresenta um conjunto considerável de singularidades e defeitos, não se

assemelhando por isso à madeira limpa de defeitos. Segundo Machado *et al.* (2009, a), quando a madeira está limpa de defeitos regista-se um aumento considerável da resistência mecânica. Não serão referidas as diferenças entre a resistência ou rigidez nas direções tangencial ou radial, pois face às diferenças entre as ações aplicadas perpendicularmente ou paralelamente às fibras (que podem chegar a razões entre 1:30 a 1:40), estas são desprezáveis.

#### 2.4.1. Comportamento à Tração

No comportamento à tração é importante diferenciar dois tipos de carregamento: tração paralela às fibras e tração perpendicular às fibras.

Para a tração paralela às fibras, a madeira apresenta uma resistência muito elevada (Henriques, 2005), sendo que ao tracionar a peça, as fibras aproximam-se, produzindo-se um aumento da coesão interna da peça - **Figura 2.10**. É este o sentido em que a madeira apresenta melhores desempenhos quando solicitada, e é especialmente importante para elementos solicitados neste sentido (Corma, s.d).



Figura 2.10- Tração paralela às fibras (Benoit, 2008)

Para a tração perpendicular às fibras, a madeira apresenta uma resistência muito baixa, pois as ligações entre fibras são fracas. Além da baixa resistência verificada, esforços nesta direção poderão resultar em formação de fendas, do tipo anelar, diminuindo a resistência para valores muito baixos – **Figura 2.11** (Machado *et al.*, 2009, a).

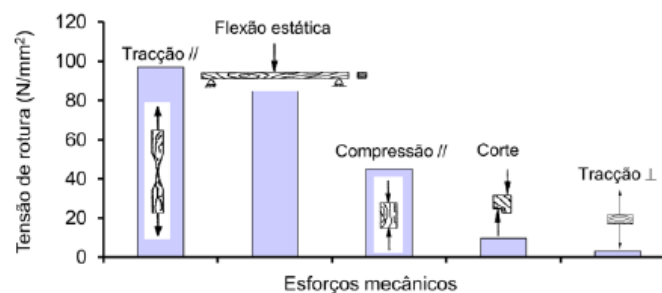


Figura 2.11- Comportamento da madeira limpa de defeitos aos diversos esforços, valores médios (Machado *et al.*, 2014)

#### 2.4.2. Comportamento à Compressão

A madeira limpa de defeitos apresenta, para a compressão paralela as fibras, -**Figura 2.12**- valores elevados, da ordem de metade do valor que oferece à tração paralela às fibras (Machado *et al.*, 2009, a), resultados importantes para elementos como os pilares. Sendo um material higroscópico, é necessário proceder-se à correção do valor da compressão paralela às fibras de 3% por variação de valor percentual do teor em água (Machado *et al.*, 2009, a).



Figura 2.12- Compressão paralelas às fibras (Benoit, 2008)

#### 2.4.3. Comportamento à Flexão estática

Resulta do comportamento da madeira durante o carregamento com uma carga pontual ou distribuída – **Figura 2.13**. É um esforço complexo pois resulta da combinação de vários esforços puros como tração (fibras inferiores), compressão (fibras superiores) e corte em diferentes direções (Neves, 2013). O comportamento da madeira a este esforço tem um bom desempenho, normalmente aplicado a elementos estruturais como vigas – **Figura 2.11**.

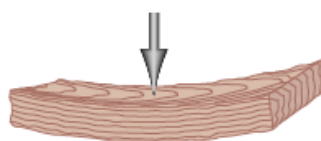


Figura 2.13- Flexão estática (Benoit,2008)

#### 2.4.4. Comportamento ao Corte

Tal como os restantes esforços, quando a madeira está sujeita a esforços de corte, estes podem verificar-se na direção paralela ou perpendicular às fibras. Quando se verifica na direção paralela, a resistência é bastante reduzida, atingido a fratura facilmente – **Figura 2.11**. Este tipo de esforços é particularmente importante em elementos estruturais como vigas (Corma, s.d).

#### 2.4.5. Módulo de Elasticidade

O comportamento elástico de um material, significa que para determinada carga, a deformação imposta por esta última é totalmente reversível após a descarga. O módulo de elasticidade é determinado teoricamente pela relação entre a tensão e a deformação unitária correspondente, dentro da zona de proporcionalidade elástica. Quanto maior for o módulo de elasticidade, menor será a deflexão provocada por uma carga na madeira.

O módulo de elasticidade da madeira pode ser avaliado segundo os três eixos principais: radial, longitudinal e tangencial. Estes valores são conseguidos através de ensaios com provetes, e variam naturalmente de espécie para espécie. No entanto, os valores de módulo de elasticidade tangencial e radial,  $E_T$  e  $E_R$  (KN/mm<sup>2</sup>) não são muito utilizados, não sendo estabelecidos para todas as espécies (Miller, 1999). Já o valor do módulo de elasticidade longitudinal  $E_L$  é o módulo mais usado, servindo para caracterizar mecanicamente as peças por classes de resistência como na norma EN 338:2009, desenvolvida em **2.5.2**.

A madeira apresenta um bom comportamento elástico, e segundo Santos (2007), a madeira suporta tensões relativamente altas, embora de curta duração, tendo um comportamento elástico quase perfeito.

## 2.5. Classificação da madeira

Neste ponto serão mencionadas as normas utilizadas para a atribuição de classes de qualidade que permitirão atribuir uma classe de resistência à madeira. Deste modo é possível classificar a madeira em serviço avaliada através de métodos não destrutivos.

### 2.5.1. Classes de Qualidade

Quando se faz o dimensionamento de uma estrutura, é necessário que os materiais a empregar cumpram os requisitos das normas que regem a construção, e mais especificamente estejam dentro dos parâmetros estabelecidos para cada material. No caso da madeira de uso estrutural, nova ou em serviço, é importante conhecê-la de modo a maximizar o uso, minimizando consequentemente os desperdícios, os custos adicionais e melhorar a sua avaliação de capacidade estrutural face às ações a que se encontra sujeita, quando se trata de madeira em serviço.

A madeira nova para estruturas está sujeita a uma avaliação que estabelece classes de qualidade. Esta avaliação é baseada essencialmente na medição de defeitos, como os nós e fendas, ou anomalias decorrentes da degradação, como o ataque de fungos ou insetos, inserindo-os em intervalos de medição. Naturalmente que uma madeira com menos defeitos ou com defeitos menos significativos terá uma classificação superior do que uma que apresente defeitos graves, podendo até ser considerada sem uso estrutural.

As normas europeias que regem a classificação de qualidade para madeira nova são as quatro partes da EN 14081:200, e ainda não todas traduzidas para português (IPQ):

- 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.

Nestas normas estão definidos os princípios base da classificação de madeiras estruturais, que pode ser obtida através da avaliação com recurso a máquinas ou a avaliação visual.

A avaliação com recurso a máquinas baseia-se no uso de sensores que avaliam determinadas características da madeira, como o módulo de elasticidade. Como atribui automaticamente

classes de resistência, retira importância à avaliação visual. Esta metodologia não será abordada neste trabalho.

Em Portugal, a norma que atribui classes de qualidade é a NP 4305:1995, aplicada ao pinho bravo (*Pinus Pinaster*), que divide a madeira nova de pinho em Estruturas - E (de qualidade mais baixa), Especial Estruturas - EE (de qualidade superior) ou sem classe, quando a madeira não está apta para estruturas - **Quadro 2.3**. Embora seja a única norma nacional que classifica visualmente madeira, Machado *et al.*, (2009, a), apresentam uma série de normas internacionais que permitem classificar as madeiras mais comuns de aplicação em território nacional, e respetivas classes de resistência abrangidas pelas normas em causa, explicitadas em **5.3**.

Características e defeitos da madeira		Classes de qualidade	
		Classe EE	Classe E
Nós	KAR marginal	< 1/5	< 1/2
	KAR total	< 1/5	> 1/2 < 1/3
Fio		< 1/10	< 1/6
Taxa de crescimento		< 6 mm	< 10 mm
Fendas	não repassadas	Fendas superficiais com $l_f < 300$ mm podem ser ignoradas	
	repassadas	$l_f < 1/4$ e $l_f < 600$ mm	$l_f < 1/4$ e $l_f < 900$ mm
		Não mais do que uma fenda com o comprimento máximo, por cada metro	Permitidas só nos topos: $l_f < 1,5x_a$
		Permitidas só nos topos: $l_f < 600$ mm e $l_f < 1,0x_a$	Permitidas só nos topos: $l_f < 1,5x_a$
Descaio		< 1/4b ; < 1/4a no comprimento total	< 1/3b ; < 1/3a no comprimento total
		< 1/3b ; < 1/3a ao longo de 300 mm (se cada topo tiver 3 ou 4 arestas vivas)	< 1/2b ; < 1/2a ao longo de 300 mm (se cada topo tiver 3 ou 4 arestas vivas)
Empenos	em arco de face (em 2 m)	Se $b = 35$ mm $\rightarrow X < 30$ mm ; Se $b > 75$ mm $\rightarrow X < 10$ mm (interpoler para valores de espessura intermédios)	
	em arco de canto (em 2 m)	Se $a = 60$ mm $\rightarrow Y < 10$ mm ; Se $a > 250$ mm $\rightarrow Y < 5$ mm (interpoler para valores de largura intermédios)	
	em hélice (em 2 m)	$Z < 1,5$ mm por cada 25 mm de largura da peça	
	em meia-cana	$X_p < 1$ mm por cada 25 mm de largura da peça	
Bolsas de resina e casca inclusa	não repassadas	Sem limites caso sejam mais curtas que a largura da peça Se tal não se verificar aplicam-se os limites das fendas	
	repassadas	Sem limites caso o seu comprimento seja < 1/2 da largura da peça Se tal não se verificar aplicam-se os limites das fendas	
Medula		Não admitida	Admitida

Quadro 2.3- Classes de Qualidade (NP 4305:1995)

Para a construção existente, a norma italiana UNI 11119:2004 estabelece objetivos, procedimentos e requisitos para o diagnóstico do estado de conservação, de maneira a que possa ser possível estimar as propriedades mecânicas da madeira (Branco & Sousa, 2014). Esta norma considera três classes distintas (Classe I,II,III), que são impostas pelos valores decorrentes da medição dos defeitos.

### 2.5.2. Classes de Resistência

A atribuição de classes de resistência à madeira torna-se importante para o dimensionamento de estruturas, pois é a forma de quantificar as características mecânicas da madeira e permitir o cálculo estrutural através da norma EN 1995:2004 (Eurocódigo 5). A norma europeia que define as classes de resistência é a EN 338:2009- *Structural Timber Strength Classes* (EN 338:2009) – **Quadro 2.4**, que define os valores para as propriedades de resistência mecânica, de rigidez e para a massa volúmica.

Divide as espécies de madeira em dois grandes grupos, com o choupo a ser inserido no grupo das resinosas por apresentar comportamento e características semelhantes. Para o choupo e espécies resinosas atribui doze classes de resistência entre C14 e C50 (C de *Coniferous* na literatura inglesa), já para as restantes espécies folhosas são classificadas com seis classes desde D30 até D70 (D de *Deciduous* na literatura inglesa). Os valores das classes são atribuídos pelo valor obtidos pelo ensaio à flexão, valor característico  $f_{m,k}$ . Esta divisão entre resinosas e folhosas é feita, entre outros parâmetros, pois as folhosas apresentam uma massa volúmica, em geral superior, sem que isso seja condição suficiente para valores superiores de resistência ou de elasticidade (LNEC, 1997, a).

Para se proceder à atribuição de uma classe de resistência, é necessário que se verifiquem duas condições essenciais: os valores característicos para a flexão e para a massa volúmica têm de ser iguais ou superiores aos valores estabelecidos pela norma e o valor característico médio do módulo de elasticidade à flexão tem que ser igual ou superior a 95% do indicado na respetiva classe da norma EN 338:2009.

No anexo A da norma EN 338:2009 encontram-se fórmulas para a determinação dos restantes valores característicos da madeira em estudo, que podem ser conseguidos através dos valores da classe de resistência.

Choupo e Espécies Resinosas														Espécies Folhosas																	
														C50	C45	C40	C35	C30	C27	C24	C22	C20	C18	C16	C14	D30	D35	D40	D50	D60	D70
<b>Propriedades de resistência mecânica (N/mm<sup>2</sup>)</b>																															
Flexão	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	30	35	40	50	60	70												
Tracção paralela	$f_{t0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42												
Tracção perpendicular	$f_{t90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6												
Compressão paralela	$f_{c0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32	34												
Compressão perpendicular	$f_{c90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5												
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	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0												
<b>Propriedades de rigidez (kN/mm<sup>2</sup>)</b>																															
Módulo de elasticidade paralelo	Média $E_{0,05,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	10	10	11	14	17	20												
	5º quantil $E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8												
Módulo de elasticidade perpendicular	Média $E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33												
	$E_{90,mean}$	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25												
<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>																															
Valor característico	$\rho_A$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900												
Média	$\rho_{mean}$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1080												

Quadro 2.4- Classes de resistência e Valores característicos (Adaptado de EN 338:2009)

### 2.5.3. Relação entre Classes de Resistência e Classes de Qualidade

Para se proceder à atribuição de uma classe de resistência tendo por base uma classe de qualidade, deve ser utilizada a NP EN 1912:2013 – Madeira para estruturas - Classes de resistência - Atribuição de classes de qualidade e espécies. Esta norma divide a madeira da mesma forma que a EN 338:2009: choupo e resinosas com classe C e folhosas com classe D. Para cada classe de resistência informa quais as normas de classificação e o país que as publica, bem como a classe atribuída por estas mesmas normas. Além da designação comercial tem também a designação comercial portuguesa, origem e classificação botânica da espécie. Esta última pode ser encontrada no final da norma. Pelo estudo da norma pode-se concluir que as espécies resinosas são predominantes na Europa, refletindo assim a realidade construtiva de cada país.

A norma nacional 4305:1995 para o pinho bravo define duas classes qualidade, mas apenas uma classe de resistência que pode ser encontrada na norma NP EN 1912:2013. A madeira de classe E (Estruturas) tem atribuída uma classe de resistência C18 – **Quadro 2.5.**

Classe resistência	País que publica a norma de classificação	Classe qualidade	Designação comercial da espécie	Designação comercial portuguesa	Origem
C18	Portugal	E	Maritime pine	Pinho bravo	Portugal

**Quadro 2.5-** Atribuição de classe de resistência da madeira de pinho bravo à classe de qualidade (Adaptado de NP EN 1912:2013)

Embora a norma nacional só cubra a madeira de pinho bravo, existem outras espécies usadas frequentemente em Portugal que são avaliadas por outras normas, caso da Casquinha- **Quadro 2.6.**

Classe resistência	País que publica a norma de classificação	Classe qualidade	Designação comercial da espécie	Designação comercial portuguesa	Origem
C24	Alemanha, Áustria e Rep. Checa	S10,S10K	Pine	Casquinha	CNE
C16	Reino Unido	GS	Red wood	Casquinha	CNE

**Quadro 2.6-** Atribuição de classe de resistência da madeira de casquinha à classe de qualidade (Adaptado de NP EN 1912:2013)

Ainda nesta norma, é possível encontrar classes de qualidade para várias madeiras tropicais como o Balau (*Shorea glauca* e *Shorea maxwelliana*) e a Teca (*Tectona grandis*) por exemplo. Quando se trata de madeiras não incluídas nas normas existentes, pode-se derivar valores característicos a partir de tensões básicas (que são obtidas a partir de provetes pequenos e livres de defeitos), seguindo a metodologia da norma EN 338:2009 (Machado *et al.*, 2009, a).

### 2.5.4.Principais Normas de Ensaio

Atendendo à natural variabilidade de características da madeira, é de extrema importância que os valores característicos da madeira sejam determinados.

Apresentam-se duas das normas disponíveis para os ensaios em laboratório necessários à determinação de valores característicos da madeira:

- Determinação de valores característicos de resistência – EN 384:2010;
- Determinação de propriedades físicas e mecânicas- EN 408:2010+A1:2012.



### 3. Agentes de Degradação

#### 3.1. Introdução

Os agentes que promovem a degradação da madeira podem ser de dois tipos: abióticos ou bióticos. Muitas vezes estão relacionados entre si, sendo que a presença de um pode levar ao desenvolvimento de outro (Machado *et al.*, 2009, a).

Quando uma estrutura é avaliada, deverá ser tido em conta o ambiente em que se insere e a que agentes está sujeita, para se ter a noção dos danos que se poderão encontrar, não devendo o avaliador deixar-se influenciar pela primeira impressão da peça, muitas vezes errónea (Cruz & Nunes, 2008). Alguns destes agentes são considerados nas normas, e tido em conta o seu grau de ataque face à classe de durabilidade natural da madeira, temática que será desenvolvida mais adiante em **3.4.2**

Seguidamente apresenta-se uma explicação dos agentes de degradação mais comuns, quais as situações em que se verificam, as consequências que têm na madeira e como se poderá avaliar a gravidade da degradação sofrida, concluindo se apenas atinge a componente estética ou também mecânica.

#### 3.2. Agentes Abióticos

Entendem-se por agentes abióticos todos os agentes de origem atmosférica como o sol, o vento ou a chuva, agentes químicos, provenientes de produtos de limpeza ou poluição por exemplo, agentes físicos ou mecânicos, que resultam de choques, atrito ou outras ações físicas não discriminadas (Branco & Sousa, 2014).

Embora a exposição da madeira a estes agentes não acarrete problemas significativos ao nível estrutural (Cruz, 2013), poderão dar-se, como referido acima, condições propícias ao aparecimento de outros agentes de degradação, maioritariamente biológicos. Segundo Machado *et al.* (2009, a), dependendo do grau de exposição, os agentes abióticos produzem deterioração física, como fendas ou empenos, e/ou química, como a alteração da lenhina. Esta é uma substância presente na madeira que contribui para a integridade estrutural da madeira, e para a resistência e rigidez da madeira face aos esforços de compressão e corte, como referido em **2.4.2** e **2.4.4** (Franco, 2008).

Para os efeitos devidos à degradação por agentes abióticos, a taxa média de perda de superfície (taxa média de erosão) é em média de 6mm/100 anos, consoante as espécies, com o carvalho a apresentar uma erosão prevista de 3mm/100 anos por exemplo, resultado de características superiores de durabilidade (Machado *et al.*, 2009, a).

### 3.2.1. Água

A presença de água na madeira é normal e constante durante o desenvolvimento da árvore e em toda a vida útil da madeira serrada e aplicada numa estrutura. Sendo a madeira um material higroscópico, está naturalmente sujeita às variações da humidade existente no ambiente em que se encontra, o que faz variar o seu teor em água, alterando as suas propriedades consoante as direções devido à sua anisotropia (LNEC, 1997, c).

Assim sendo, segundo Machado (2014), devem ter-se em conta o ambiente a que a peça estará sujeita, adaptando-se por isso o teor em água da madeira para que sejam minimizados os problemas decorrentes. Estipula assim quatro situações:

- Interiores com aquecimento contínuo – 8% a 10%.
- Interiores sem aquecimento contínuo – 10% a 14%.
- Exterior abrigado – 12% a 18%.
- Exterior exposto (sem contacto com o solo ou água) – 12% a 22%.

Se a madeira se encontrar num ambiente interior ou exterior abrigado, a degradação desenvolvida diretamente pela água vai verificar-se no desenvolvimento de fendas e empenos, decorrentes dos ciclos de secagem/ humidificação próprios de um ambiente interior (Machado *et al.*, 2009, a). Quando a madeira aumenta o seu valor de teor em água, verifica-se um aumento do volume da peça, resultando no aumento das tensões internas e conseqüente aparecimento de fendas. Não obstante, teores em água elevados produzem deformações estruturais elevadas (Branco & Sousa, 2014).

Se por outro lado, a madeira se encontrar num ambiente exterior exposto ou marítimo sem contacto direto com a água do mar, está em contacto com a água da chuva, e por isso, sujeita a ciclos de secagem/ humidificação explicitados acima e conseqüentes efeitos (Henriques, 2011). Juntamente com os efeitos da exposição solar, a camada superficial da madeira passa a estar num processo de lixiviação e de remoção desta mesma camada- **Figura 3.1**, permitindo que o efeito penetre mais profundamente, expondo o material lenhoso da camada subjacente à superficial (Machado *et al.*, 2009, a). Nos ambientes marítimos, além do efeito da chuva, a madeira poderá absorver sais que uma vez difundidos na parede celular, vão cristalizar e aumentar de volume, separando as fibras (Machado *et al.*, 2009, a). Este último autor refere ainda que a este tipo de degradação se deve o aspeto lanoso da madeira, e que os efeitos desta degradação são lentos, não se contabilizando por isso os seus efeitos na diminuição da capacidade resistente, sendo os efeitos apenas estéticos.

### 3.2.2. Sol

As estruturas de madeira de exterior, abrigadas ou não, estão sujeitas ao efeito da exposição solar, nomeadamente à radiação ultravioleta e infravermelha. Por esta última, não são comuns efeitos nocivos na madeira, pois as variações moderadas de temperatura que provocam são suportadas por esta (Branco & Sousa, 2014). Relativamente aos raios ultravioleta, estes

provocam a degradação química da lenhina que leva à separação da membrana exterior da madeira das suas paredes celulares resultando num aspeto de desfibramento superficial da madeira (Machado *et al.*, 2009, a). Estes efeitos são visíveis pela tonalidade acinzentada que a madeira adquire, dando um aspeto de lenha antiga -**Figura 3.1** (Cruz & Nunes, 2008).

Estes efeitos podem ser minimizados se forem utilizadas técnicas de proteção tais como tintas, vernizes ou velaturas que além de protegerem a madeira da radiação ultra violeta, têm ainda uma ação hidrófuga (Machado *et al.*, 2009, a).



**Figura 3.1- Madeira envelhecida**

### **3.2.3. Fogo**

Segundo as especificações europeias, incluídas no Regulamento geral de segurança contra incêndios em edifícios (2009), a madeira é caracterizada em classe B quando se trata de madeira tratada com retardantes de fogo, ou D quando se trata de madeira maciça e painéis de madeira não tratados. Apresenta substâncias como oxigénio, hidrogénio e carbono, que se encontram na lenhina e celulose, e que potenciam a combustão, pois atuam como combustível, na existência de uma fonte de ignição (chama) e um comburente (oxigénio) (Martins, 2009).

Apesar de ser combustível, a madeira apresenta uma boa resistência ao fogo, ao contrário de outros materiais de construção (Coutinho, 1999). O colapso das estruturas de madeira dá-se pela perda de secção pela combustão ao invés de estruturas de outros materiais, como o aço, em que o colapso se dá por plastificação do material, a temperaturas relativamente baixas (+/-300°C) face às temperaturas suportadas pelas estruturas de madeira (Henriques, 2005). Dois fatores importantes para a resistência das peças de madeira à combustão são a sua massa volúmica e o seu teor de água (Miller, 2010). Quanto mais densa for a madeira, mais dificilmente se iniciará o processo de combustão, bem como o teor de água, que quanto mais elevado for, mais protegerá a madeira do fogo, muito embora em estruturas existentes em interiores, o teor em água será baixo (Santos, 2009).

A temperaturas inferiores a 275°C, o ataque é relativamente lento e progressivo, libertando vapor de água presente na madeira, secando-a (Branco & Sousa, 2014). A esta temperatura dá-se a pirolise da madeira, que funciona como uma capa protetora com função isolante três vezes superior à da madeira – **Figura 3.2** (Miller, 2010) que impede que a combustão progrida mais profundamente na peça. Nesta altura a reação é endotérmica, pois a madeira utiliza a energia da

combustão para libertar água (Santos, 2009), sendo que passa a exotérmica quando a temperatura aumenta e aí se verifica a diminuição da secção por combustão.

Importa referir que na secção não afetada a madeira encontra-se intacta nas suas propriedades, sendo a diminuição de secção que deve ser tida em conta -**Figura 3.2** (Cruz & Nunes, 2008). O Eurocódigo 5 admite para efeitos de dimensionamento uma taxa de combustão para espécies resinosas de 0,70 mm/minuto e para folhosas com valores entre 0,70 mm/minuto e 0,80 mm/minuto.

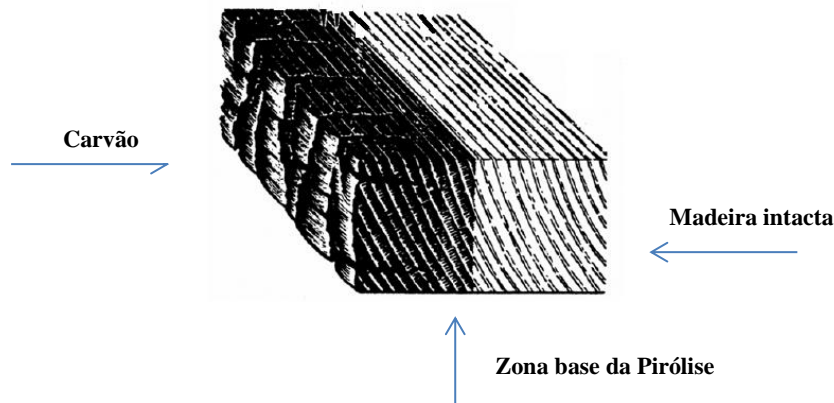


Figura 3.2- Esquema de Combustão da madeira (Miller, 2010)

#### 3.2.4. Agentes Físicos e Mecânicos

Por agentes de degradação físicos e mecânicos entendem-se todas as ações resultantes de fenómenos físicos exteriores à estrutura e àqueles que resultam das cargas impostas à mesma (Cruz & Nunes, 2008). Por serem efeitos de origem maioritariamente inesperada, é necessário ter em conta formas de proteger a estrutura, como a escolha adequada da espécie de madeira a ter em conta bem como, e caso seja necessário, a escolha de proteções das secções mais ameaçadas (Branco & Sousa, 2014).

Relativamente aos efeitos físicos, devem ter-se em conta as ações de atrito, que resultam no desgaste e conseqüente diminuição da seção útil das peças, e que podem ser provocadas pelo movimento entre peças de madeira, em nós de ligação por exemplo, em ambientes marinhos, com o arraste de partículas em zonas de corrente, ou ainda em zonas de vento significativo e permanente (Branco & Sousa, 2014).

Os agentes mecânicos podem dividir-se em ações de curta duração como o impacto ou choque de corpos exteriores com a estrutura, ou ações de longa duração, como o excesso de carga da estrutura. Deve haver por isso um acompanhamento sistemático da estrutura para se garantir que esta se mantém adequada para o sistema de cargas imposto ao longo da sua vida útil (Branco & Sousa, 2014). Quanto às ações de curta duração, podem verificar-se deformações que podem causar dano na estrutura, enquanto para ações de longo prazo podem verificar-se problemas devidos à fluência da madeira, levando a deformações excessivas e permanentes ou até mesmo a rutura (Machado *et al*, 2009, a).

### **3.2.5. Agentes Químicos**

Apesar de a madeira apresentar um bom comportamento ao ataque químico, verificam-se problemas quando o pH do ambiente em que esta se insere atinge valores extremos, tanto ácidos como alcalinos (Branco & Sousa, 2014).

Relativamente ao ambiente ácido, dá-se a hidrólise da celulose, que resulta na diminuição da resistência mecânica da peça, em que a madeira adquire uma coloração castanha escura e uma textura friável (Martins, 2009). Quanto aos ambientes alcalinos, promovem a dissolução da hemicelulose e a destruição da lenhina, resultando num aspeto pouco coeso e esbranquiçado das fibras, diminuindo a resistência da madeira (Branco & Sousa, 2014). De referir que as madeiras folhosas apresentam uma resistência inferior às resinosas tanto a pH ácidos como alcalinos. (Branco & Sousa, 2014).

Outra situação bastante frequente, ocorre nas ligações com elementos metálicos, caso se verifique a presença de oxigénio e água bem como de iões ferrosos (Martins, 2009), em que se dá a oxidação da celulose da madeira, ficando naquele ponto a madeira mais escura e com menor resistência mecânica (Branco & Sousa, 2014).

### **3.3. Agentes Bióticos**

Os agentes bióticos são todos os agentes biológicos capazes de provocar degradação na estrutura celular da madeira e pertencem ao grupo dos Xilófagos. A palavra Xilófago, com origem grega, divide-se em Xilo que significa madeira, e Fago que por sua vez significa alimentação, entendendo-se assim a forma de desenvolvimento destes seres. Pertencentes aos agentes Xilófagos, podem dividir-se em dois grandes grupos: fungi, em que se incluem as bactérias e os fungos, e o animal, com ações de insetos xilófagos e xilófagos marinhos (Branco & Sousa, 2014).

Desenvolvem-se tanto em madeiras de componente estrutural como madeiras decorativas, sendo que um dos principais fatores do aparecimento destes agentes é a variação do teor em água (Cruz & Nunes, 2008). Muitos destes organismos apenas se desenvolvem com teores em água elevados, e é por isso que uma estrutura pode estar muitos anos sem sofrer nenhum ataque e com uma mudança de condições de equilíbrio podem surgir problemas (Cruz & Nunes, 2008).

Ao contrário dos agentes abióticos cujos efeitos são maioritariamente estéticos, os agentes bióticos podem produzir efeitos a nível estrutural muito graves, com perdas de massa e secção significativas. São também os principais causadores das roturas parciais ou totais das estruturas (Cruz, 2004).

Existem normas em vigor, abordadas em **3.4** que têm em conta não só o ambiente em que a madeira está inserida, como também a durabilidade própria de cada espécie face ao ataque de agentes bióticos. Esta informação deve ser tida em conta não só quando se aplica madeira nova

em obra como também quando se vai avaliar madeira em serviço, para se saber *a priori* os danos passíveis de serem encontrados.

### 3.3.1. Fungos xilófagos

Dentro da classe dos fungos Xilófagos, Cruz & Nunes (2008), defendem que se deve fazer a diferenciação entre fungos cromogéneos e bolores, que provocam manchas azuladas no borne, e aqueles que destroem a madeira em qualquer idade, os de podridão ou lenhívoros. De entre os fungos de podridão deve-se fazer a distinção entre fungos de podridão mole, fungos de podridão castanha e os fungos de podridão branca. Assim sendo, serão estes os agentes a descrever, tendo em conta a sua constituição, causas, características, métodos de identificação e consequências.

#### 3.3.1.1. Fungos cromogéneos e bolores

A diferença mais significativa entre os fungos cromogéneos e os bolores e os fungos de podridão ou lenhívoros, é que os primeiros produzem na madeira alterações ao nível estético, com alterações na coloração, enquanto os últimos são responsáveis pela destruição total da estrutura (Feio & Lourenço, 2005).

Assim, estes tipos de fungos desenvolvem-se em madeiras com teores em água superiores a 25%-30% (Henriques, 2011), com temperaturas entre 20° C a 28°C e pouca iluminação (Branco & Sousa, 2014). Sendo que em madeiras interiores estes valores são difíceis de atingir, o ataque das madeiras por agentes cromogéneos ou bolores, dá-se maioritariamente em madeiras no exterior, em contato ou não com o solo (Machado *et al.*, 2009, a). Quando o ataque se dá no interior, este é causado por deficiências da construção como sendo infiltrações de várias formas, ascensão de água com origem no solo de fundação, condensações e ruturas de canalização por exemplo. (Miller, 2010). Desenvolvem-se pela contaminação por madeiras já atacadas ou por germinação de esporos que se instalam na madeira, transportados por animais, vento ou ferramentas de serragem (Cruz & Nunes, 2008) alimentando-se de componentes presentes nas células lenhosas da madeira (Feio & Lourenço, 2005). É importante referir que os esporos podem encontrar-se na madeira sem se desenvolverem, desde que não se deem condições adequadas de temperatura, humidade e luminosidade (Cruz & Nunes, 2008).

Manifestam-se por manchas azuladas, rosáceas ou acinzentadas no borne da madeira, sendo as azuladas mais comuns e aparecem maioritariamente nas resinosas – **Figura 3.3** (Feio & Lourenço, 2005). Como referido acima, apesar de não diminuírem de forma significativa a resistência da madeira, aumentam a permeabilidade da madeira (NP EN 335-1:2011), o que resulta num aumento da sua higroscopicidade (Martins, 2009), aumentando a probabilidade de desenvolvimento de fungos de podridão.



**Figura 3.3-Fungos Cromogéneos (Nunes, 2013)**

Relativamente aos bolores, manifestam-se pelo aspeto esponjoso com cores entre o branco e o preto, só alterando o aspeto da superfície da madeira, sendo facilmente removíveis por limpeza superficial (Machado *et al.*, 2009, a).

### **3.3.1.2. Fungos de podridão ou lenhívoros**

Como referido acima, os fungos de podridão ou lenhívoros podem dividir-se em três tipos: podridão branca, podridão castanha e podridão mole. Segundo a norma NP EN 335-1:2011, qualquer uma das podridões desenvolve-se com teores em água superiores a 20%, embora para a podridão branca e castanha, *basidiomicetes*, o teor em água é inferior ao necessário para se dar o desenvolvimento da podridão mole.

Podridão Branca – Fungos do género Ascomicetas e Basidiomicetas (Nunes *et al.*, 2000). Desenvolvem-se nas cavidades celulares da madeira, e atacam os componentes das paredes celulares, como a hemicelulose e a lenhina, danificando a madeira em termos de resistência mecânica (Feio & Lourenço). Manifesta-se pelo aspeto esbranquiçado com uma textura fibrosa. Esta aparência resulta da celulose, que após o ataque fica como componente residual (Martins, 2009) - **Figura 3.4.**

Ataca essencialmente madeiras do tipo folhosas, não sendo comum o ataque a madeiras resinosas (Branco & Sousa, 2014). Segundo Nunes *et al* (2000), os fungos de podridão branca destaca-se dos restantes agentes de degradação pela capacidade que tem de degradar completamente a lenhina, sendo o único organismo conhecido a fazer isso.



**Figura 3.4- Podridão Branca**

Podridão Castanha – Fungos do género Basidiomicetas (NP EN 335-1:2011). Tal como a podridão branca, desenvolve-se nas cavidades celulares da madeira, mas com a diferença que consomem apenas a hemicelulose e a celulose, não atacando a lenhina (Nunes *et al.*, 2000). Pode ser chamada de podridão cúbica, por causa do desenvolvimento do fungo de podridão, que ao atacar as componentes provoca retração das fibras, resultando em fendilhação no elemento, na direção transversal e longitudinal – **Figura 3.5** (Nunes *et al.*, 2000). Ataca maioritariamente as madeiras resinosas.

A podridão castanha pode ser do tipo húmida ou seca, com aparência semelhante (Branco & Sousa, 2014). A podridão seca é comum em zonas pouco húmidas e é causada pela espécie de fungos *Serpula lacrymans*, propagando-se rapidamente em toda a madeira existente na estrutura, já que tem a capacidade de crescer por cima de elementos que não têm valor nutritivo para o fungo, como alvenarias e argamassas (Branco & Sousa, 2014). Já a podridão húmida, mais comum em Portugal, precisa de mais humidade para se desenvolver, desenvolvendo-se mais nas espécies de madeira resinosa do que nas folhosas (Nunes *et al.*, 2000). Distingue-se da podridão seca por ter “cubos” mais pequenos (Branco & Sousa, 2014).

Podridão mole – São considerados micro fungos, caracterizando-se por serem fungos imperfeitos e alguns ascomicetas (Cruz & Nunes, 2005). Pela norma NP EN 335:1-2011, a podridão mole precisa de mais humidade para se desenvolver, sendo por isso mais importante para madeira em contato com o solo ou com a água. Caracteriza-se por provocar um amolecimento superficial da madeira, embora também possa provocar danos em profundidade- **Figura 3.6**.



**Figura 3.5- Podridão castanha / cúbica**

Sendo mais comum em folhosas, caracteriza-se pela fratura em cubos, com uma tonalidade entre o cinza e o castanho (Martins, 2009). Quando a madeira seca, apresenta um aspeto normal, mas quando lascada por uma faca parte-se em fragmentos (Nunes *et al.*, 2000).



Figura 3.6- Podridão mole (Henriques, 2014, b)

De maneira geral, o ataque por fungos é identificável pelo cheiro a mofo, alterações da configuração (desintegração), alterações visuais (alteração de cores e zonas moles), som oco, perda de peso, perda de resistência e alteração do teor em água (Feio & Lourenço, 2005)), sendo necessário depois avaliar cada uma das características específicas dos diferentes tipos de podridão para que se tenha em conta o possível grau de ataque da madeira. Importa ainda referir que a madeira permanentemente submersa não apresenta risco de ataque por estes fungos pois está totalmente saturada (Feio & Lourenço, 2005).

### 3.3.2. Insetos xilófagos

Dentro da categoria dos insetos xilófagos, inserem-se três subgrupos com as respetivas espécies que serão explicados em seguida. Ter-se-á em conta o seu tipo, desenvolvimento, características, causas, consequências bem como os métodos de identificação.

#### 3.3.2.1. Térmitas

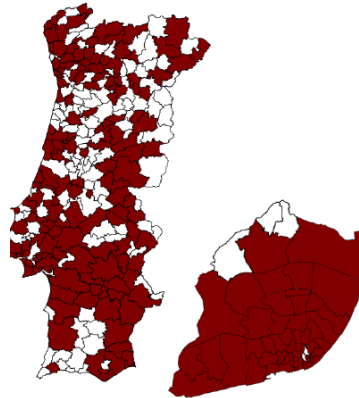
As térmitas, do grupo *Isoptera* são consideradas animais sociais pois vivem em comunidade, e dividem-se em três grupos, chamados de castas (Cruz & Nunes, 2008), cada um com as suas funções, individuais entre si mas necessários no todo (Nunes *et al.*, 2000):

- Obreiras: realizam tarefas de alimentação e manutenção da colónia sendo estes que atacam a madeira, existindo em maior número e com dimensões até 1cm;
- Soldados: com funções de defesa da colónia, com dimensões até 1cm;
- Reprodutores alados: com funções de reprodução, com reprodutores primários e secundários, é muitas vezes pela sua presença ou pela presença das suas asas que se detetam infestações de térmitas. Surgem normalmente na Primavera. Com dimensões até 1,5cm.

Apesar de atacarem madeira no interior das edificações, as colónias localizam-se normalmente no exterior, no solo, deslocando-se por galerias protegidas da luz até aos pontos de alimentação, a celulose (Cruz & Nunes, 2008). No entanto, e visto alimentarem-se da celulose presente na madeira, atacam também árvores ou raízes, mas não sendo estes ataques assunto do presente texto.

As térmitas subterrâneas do complexo *Reticulitermes lucifugus* Rossi (Família Rhinotermitidae), são abundantes em Portugal Continental – **Figura 3.7-**, e atacam todas as espécies de madeira

usadas na construção, com especial ênfase para o pinho, sendo o primeiro ataque por esta espécie registado no início do século XX (Cruz & Nunes, 2008). Importa referir que o facto de não ser referenciado ataque de térmitas em determinados concelhos do país, não é condição suficiente para que não haja presença de térmitas subterrâneas nestes locais, mas sim inexistência de informação (Cândido, 2013 citando Nunes & Nobre, 2006). Nas madeiras tropicais, o cerne da madeira apresenta muitas vezes resistência ao ataque deste inseto (Cruz & Nunes, 2008).



**Figura 3.7- Presença de térmitas subterrâneas em território continental- a vermelho, e pormenor de presença no distrito de Lisboa- (Cândido, 2013 citando Nunes & Nobre, 2006)**

As térmitas atacam madeiras com teores em água superiores a 20% mas não saturada (Machado *et al.*, 2009, a). Por regra, a atividade destes insetos começa nos pisos térreos, podendo subir aos restantes caso o alimento escasseie nos inferiores, ou haja ligação aos pisos através da madeira (caso da gaiola pombalina), preferindo por isso localizações em que haja problemas de infiltrações como vigamentos, pavimentos e rodapés (Nunes *et al.*, 2000).

Relativamente às térmitas de madeira seca encontra-se no arquipélago da Madeira e em algumas ilhas do arquipélago dos Açores, a espécie de térmitas de madeira seca *Cryptotermes Brevis Walker*, e no continente a espécie *Kaloterme flavicollis* (Nunes *et al.*, 2000).

A presença de térmitas é identificável pelo aspeto folheado da madeira atacada – **Figura 3.8**, visto que as térmitas preferem o lenho de Primavera, sem lesão no lenho de Outono (Cruz & Nunes, 2008). Nas galerias formadas pelas térmitas, observáveis pelo uso de uma faca para levantar a película de madeira que as protege, não é encontrado serrim, mas sim concreções terrosas (Branco & Sousa, 2014). É também recorrente a observação de galerias de terra sobre a madeira ou a alvenaria – **Figura 3.9**- ou enxameações de insetos adultos alados (Machado *et al.*, 2009, a) que tal como referido acima perdem as suas asas antes da colocação dos ovos que se dá entre Maio e Agosto.



Figura 3.8- Aspeto folheado da madeira atacada por térmitas

Relativamente aos efeitos do ataque das térmitas na madeira, devido à irregularidade característica das galerias, é difícil estabelecer uma dimensão adequada para o ataque e avaliar a perda total de secção. Outro dos problemas associados a este ataque é a dificuldade de deteção da presença das térmitas, sendo que o diagnóstico só se dá muitas vezes quando o ataque já se estendeu à totalidade da estrutura (Machado *et al.*, 2009, a; Cruz, 2001).



Figura 3.9- Galeria de terra de térmitas (Cruz & Nunes, 2008)

### 3.3.2.2. Caruncho

Os carunchos caracterizam-se por serem insetos de ciclo larvar completo, tendo quatro fases de desenvolvimento, ovo, larva, pupa e adulto. É na fase larvar que estes provocam a destruição da madeira, onde crescem e se desenvolvem, escavando galerias (Machado *et al.*, 2009, a).

Em Portugal são conhecidas três espécies distintas de caruncho que se enumeram em seguida (Nunes *et al.*, 2000):

- *Hylotrupes bajulus* L, Ordem Coleoptera, família Cerambycidae (Cruz & Nunes, 2008) conhecido por caruncho grande, que só ataca madeiras resinosas e maioritariamente só o borne (Machado *et al.*, 2009, a), com a dimensão da larva entre 10 a 30 mm (Nunes *et al.*, 2000). Devido às suas dimensões, o seu ataque pode ter sérias consequências a nível estrutural (Costa, 2013).
- *Anobium punctatum* (De Geer), Ordem Coleoptera, família Anobiidae, que só ataca o borne de resinosas e folhosas, com larvas de 2 a 4 mm (Nunes *et al.*, 2000). Ataca tanto madeiras com componente estrutural como peças de mobiliário (Henriques, 2014, c).
- *Lyctus* (*Lyctus* sp.) Ordem Coleoptera, família Lyctidae, que ataca exclusivamente o borne certas madeiras de folhosas ricas em amido (Machado *et al.*, 2009, a), com larvas de 4 a 5 mm (Nunes *et al.*, 2000).

Geralmente os carunchos não têm exigências especiais ao nível do teor em água, mas preferem madeira seca (Machado *et al.*, 2009, a).

Os carunchos fêmea adultos depositam os ovos em fendas, poros ou juntas, e o período de eclosão irá variar de espécie para espécie e com as condições do ambiente em termos de humidade e temperatura. Depois de eclodirem, as larvas penetram na peça e iniciam as galerias, pois alimentam-se da celulose ou amido da madeira, produzindo serrim. Quando a larva se encontra próxima do seu desenvolvimento completo, aproxima-se da superfície e constrói o casulo, entrado no estado de pupa. Sairá do orifício característico no início do Verão, e irá reinfestar novamente o mesmo elemento ou outros (Cruz, 2001). O tempo de vida pode variar entre 2 a 11 ou mais anos para o caruncho grande, e aproximadamente 2 anos para o caruncho pequeno. Estes tempos irão variar consoante a espécie, o tipo de madeira, a humidade e a temperatura ambiente (Nunes *et al.*, 2000).

Relativamente à identificação da presença de caruncho, muitas vezes só é verificada pelos orifícios de saída dos insetos, que no caso do caruncho grande se caracterizam por serem orifícios de maiores dimensões e ovais, e no caso do caruncho pequeno se caracterizam por serem orifícios mais pequenos e de forma circular (Cruz, 2001). São comuns também montículos de serrim, tanto no interior das galerias como junto aos orifícios, principalmente quando o ataque é por caruncho pequeno (Henriques, 2005;2014). Quando o ataque se dá por caruncho grande, devido à presença do serrim, a camada superficial da madeira enruga, sendo por isso fácil levantá-la com recurso a uma lâmina – **Figura 3.10** (Henriques, 2011). Neste caso é comum ouvir-se o ruído das larvas a comerem a madeira (Machado *et al.*, 2009, a).



**Figura 3.10- Camada superficial da madeira atacada por caruncho (Henriques, 2011)**

A nível das consequências, segundo uma campanha de ensaios desenvolvida por Mendes (2013), verificou-se que o ataque por caruncho pequeno, não conduz, em geral, a grande diminuição de resistência mecânica. No caso do caruncho grande, o ataque pode ter proporções consideráveis, e provocar uma diminuição de secção considerável. A secção não degradada é chamada secção residual – **Figura 3.11**, e deve ser avaliada com recurso a ensaios não destrutivos como é o caso do Resistógrafo (Henriques, 2014, c).



Figura 3.11- Secção residual estimada (Cruz, 2011)

### 3.3.2.3. Xilófagos marinhos

Os xilófagos marinhos dividem-se em dois grandes grupos: molúsculos e crustáceos. Diferenciam-se pela profundidade do ataque, e de forma geral atacam tanto resinosas como folhosas, no cerne ou no borne (Miller, 2010). Tal como o nome indica, estes seres existem em ambientes marítimos, sendo por isso que atacam madeiras em ambiente marítimo, estruturais ou não, como estacas, pontões ou cascos de barcos. É um problema existente em todo o mundo, variando a gravidade e intensidade do ataque com as condições de oxigénio, temperatura da água e salinidade (Miller, 2010). Embora sejam agentes degradadores da madeira não lhes será dada especial importância devido a desenvolverem-se em ambiente marinho, sendo só referenciada a principal informação, presente em Miller (1999).

- Molúsculos: atacam o interior da madeira. Pertencem à família dos *Terediníceos*, sendo a espécie mais importante a *Teredo* – **Figura 3.12** (Henriques, 2005). Usam a madeira como esconderijo alimentando-se de partículas orgânicas existentes na água, e desenvolvem-se em águas límpidas, sendo muito comuns na costa báltica. São animais hermafroditas, de corpo cilíndrico semelhante a uma lagarta. Destroem a madeira pois habitam nela toda a sua vida, perfurando a madeira e deixando-a com um aspeto de favos de mel. Produzem uma redução de secção muito elevada, podendo causar o colapso da estrutura. São detetados pelos orifícios que deixam na superfície da madeira, muito embora o grau de ataque exterior não corresponda à gravidade encontrada no interior da madeira.
- Crustáceos: atacam a superfície da madeira. Os mais comuns são da espécie *Limnória* (Henriques, 2013), também chamada “pulga-do-mar” – **Figura 3.13**. Desenvolvem-se em número elevado, e possuem uma coloração amarela acastanhada com dimensões de 3 a 5mm. Ao contrário da espécie de molúsculo, desenvolvem-se em águas límpidas ou turvas, sendo por isso comum a sua existência. Atacam a superfície da madeira, fazendo orifícios com 1mm de profundidade.



Figura 3.12- Xilófago marinho da espécie *Teredo* e degradação respetiva (autor desconhecido)



Figura 3.13- Xilófago marinho da espécie *Limnória* (autor desconhecido)

### 3.4. Referências normativas

Relativamente à normalização que está diretamente relacionada com os agentes de degradação da madeira, pode-se fazer a divisão entre duas temáticas: as classes de risco biológico da madeira, em que sumariamente se avalia o ambiente em que a madeira está inserida, e as classes de durabilidade natural, que por sua vez tem em conta as características ligadas à durabilidade intrínsecas a cada espécie de madeira. Por último, é possível fazer um paralelismo entre as duas classes, para que se possa entender para o caso da construção nova, qual a espécie de madeira mais adequada para determinado ambiente, e no caso de madeira *in situ* se possa identificar quais as patologias expectáveis de encontrar quando se proceder à avaliação das peças.

A correta avaliação das condições ambientais e da durabilidade natural da madeira pode ser a diferença entre uma estrutura sem problemas durante muitos anos e outra que rapidamente apresenta anomalias decorrentes dos agentes de degradação mencionados neste capítulo.

#### 3.4.1. Classes de Risco

A madeira aplicada na construção está sujeita a formas muito diversas de exposição, principalmente a nível higrotérmico que poderão ditar o tipo e a velocidade da degradação na madeira, provocada por agentes biológicos (Nunes, 2013). Tal como já referido, além dos agentes bióticos de degradação, a madeira está sujeita aos agentes abióticos de degradação, embora os efeitos destes últimos sejam maioritariamente estéticos, só sendo gravosa a sua existência pois maximiza as condições necessárias para o aparecimento dos primeiros.

A norma europeia que define as classes de risco biológico, já traduzida para português, é a NP EN 335:2011 – Durabilidade da madeira e de produtos derivados da madeira. Definição de classes de risco. Esta norma divide-se em três partes, sendo que apenas a primeira parte, que se refere às generalidades e a parte dois relativa à aplicação à madeira maciça importam para este estudo.

Nas partes 1 e 2 da norma (NP EN 335:2011), são explicitadas as definições das classes de risco, que vão de 1 (menos gravosa) a 5 (mais gravosa) e que se passam a enumerar:

- Classe de risco 1- Madeira e/ou derivados encontram-se abrigados, não expostos às condições atmosféricas ou humidade, teor em água inferior a 20%;

- Classe de risco 2 – Madeira e/ou derivados encontram-se abrigados e não expostos às condições atmosféricas ou humidade, mas onde uma humidade ambiente elevada pode provocar a uma humidificação ocasional, mas não persistente, promovendo ocasionalmente um teor em água superior a 20%;
- Classe de risco 3 – Madeira e/ou derivados não estão abrigados nem tão pouco em contacto com o solo. Têm a hipótese de se encontrarem continuamente expostos às condições meteorológicas, ou abrigados das condições meteorológicas mas ocasionalmente ou frequentemente humidificados, promovendo teores em água superiores a 20%;
- Classe de risco 4 – Madeira e/ou derivados estão em contacto com o solo ou água doce, estando assim frequente ou permanentemente expostos à humidificação, promovendo teores em água superiores a 20%;
- Classe de risco 5 – Madeira e/ou derivados estão permanente expostos ao contacto com água salgada, teor em água superior a 20%.

Na parte 2 da norma (EN 335-2:2013) são indicados os teores em água correspondentes a cada classe, e identificados quais os agentes biológicos a que a madeira pode estar sujeita, quando aplicada nessas classes de risco. No **Quadro 3.1** pode-se verificar a informação relevante da norma.

<b>Classes de Risco</b>	<b>Situação mais gravosa em serviço</b>	<b>Humidificação em serviço</b>	<b>Principais agentes biológicos</b>
<b>1</b>	No interior - protegido	seco - máximo 20%	Térmitas, Coléopteros
<b>2</b>	No interior ou protegido	Ocasionalmente >20%	Fungos, Térmitas, Coléopteros
<b>3.1</b>	No exterior - acima do solo - protegido	Ocasionalmente >20%	Fungos, Térmitas, Coléopteros
<b>3.2</b>	No exterior - acima do solo - desprotegido	Frequentemente > 20%	Fungos, Térmitas, Coléopteros
<b>4</b>	No exterior - em contacto com o solo e/ou água	Frequente ou permanentemente > 20%	Fungos, Térmitas, Coléopteros
<b>5</b>	Na água salgada	Permanentemente >20%	Fungos, Térmitas, Coléopteros, Xilófagos Marinhos

**Quadro 3.1- Classes de risco biológico, condições de teor em água e agentes biológicos que poderão atacar madeira em serviço (adaptado de EN 335:2013)**

É ainda possível efetuar um paralelismo entre as classes de risco biológico e as classes de serviço definidas na EN 1995-1:2004 para efeitos de cálculo estrutural (Nunes, 2013). -**Quadro 3.2:**

Classe de Serviço (EN 1995-1-1)	Classe de Risco possível (EN 335)
1	1
2	1 ou 2, se a madeira está aplicada numa situação sujeita a humedecimento
3	2, 3 ou superior se a madeira for aplicada no exterior

**Quadro 3.2- Classes de risco e classes de serviço (Adaptado de Nunes, 2013)**

Na parte final da norma EN 335:2013, existem esquemas explicativos dos processos de decisão a tomar tendo em conta a estrutura, solitações a que estará sujeita, ambiente envolvente e características intrínsecas da madeira. Embora expeditos, não serão incluídos neste trabalho por questão de gestão de espaço.

#### **3.4.2. Classes de durabilidade natural**

Como já referido, cada espécie de madeira apresenta características específicas que irão influenciar a durabilidade do material e respetiva suscetibilidade ao ataque biológico (Cruz, 2001; LNEC, 1997, a). A este fator acresce ainda a durabilidade da madeira de uma determinada espécie não ser igual em toda a secção, havendo diferenças entre a durabilidade do borne e do cerne por exemplo (Henriques, 2005). Entende-se assim a durabilidade da madeira como sendo a resistência natural da madeira ao ataque por organismos vivos e a sua impregnabilidade, visto que esta última determina a capacidade da madeira de receber proteção (Cruz & Nunes, 2008). A norma que classifica a durabilidade natural da madeira é a NP EN 350- “Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Durabilidade natural da madeira maciça”, que se divide em duas partes.

Na primeira parte da norma (NP EN 350-1:2008: Parte 1: Guia dos princípios de ensaio e classificação da durabilidade natural da madeira.), são referidos os procedimentos necessários para a execução de ensaios, como o número de provetes a ensaiar, dimensões e sua conservação, bem como os processos e medições necessárias. A norma refere ainda que deve ser feita uma avaliação da durabilidade natural da madeira com recurso a ensaios de campo ou ensaios laboratoriais.

Para o ataque de fungos lenhívoros, pode-se fazer a classificação em cinco classes de durabilidade: 1- Muito durável; 2 - Durável; 3 – Medianamente durável; 4 – Pouco durável e 5 – Não durável. Para o ataque por térmitas e xilófagos marinhos, estabelecem-se três classes de durabilidade: D – Durável; M – Medianamente durável e S – Suscetível. Para o ataque por

caruncho, estabelecem-se duas classes para o borne, pois o cerne é considerado como durável para todas as espécies. São então: D- Durável e S-Suscetível.

A parte dois da norma (NP EN 350-2:2008 – Parte 2: Aplicação à madeira maciça), apresenta a avaliação da durabilidade natural da madeira maciça, no caso das espécies de madeira mais usadas na Europa. Permite identificar para cada uma das espécies de madeira o seu desempenho para cada um dos agentes biológicos. Utiliza a classificação descrita na parte um da norma, e acrescenta uma nova classe para o cerne da madeira relativamente ao ataque por caruncho (Espécies *Hylotrupes bajulus* e *Anobium punctatum*) que pode ser considerado suscetível (SH – *susceptible heartwood*, na literatura inglesa). A título exemplificativo, a madeira de pinho bravo caracteriza-se nesta norma pela informação do **Quadro 3.3:**

Nome científico	Agentes biológicos				Impregnabilidade	
	Fungos	<i>Hylotrupes</i>	<i>Anobium</i>	Térmitas	Cerne	Borne
<i>Pinus pinaster</i>	3-4	S	S	S	4	1

**Quadro 3.3- Durabilidade natural e impregnabilidade do Pinho bravo (extraído de NP EN 350-2:2008)**

Complementarmente, a NP EN 350-2:2008 também indica as classes de impregnabilidade da madeira. Esta é uma característica da madeira que se define como sendo a facilidade de impregnação da madeira com líquidos preservadores (LNEC, 1997, a). Assim sendo, uma madeira com uma capacidade de impregnação superior poderá ser tratada de forma mais expedita evitando por isso ataques biológicos que poderão ocorrer em madeira não tratada. Indica 4 classes de impregnabilidade indicadas no **Quadro 3.4:**

Classe de Impregnabilidade	Descrição	Explicação
1	Fácil de tratar	Penetração total da madeira serrada por tratamento pressurizado
2	Moderadamente fácil de tratar	Penetração total incomum. Após 2h-3h conseguem-se penetrações na ordem dos 6mm tanto em folhosas como resinosas para tratamentos pressurizados
3	Difícil de tratar	Após 3h-4h penetrações laterais na ordem dos 3-6mm para tratamentos pressurizados
4	Extremamente difícil de tratar	Tratamento virtualmente impossível. Penetração lateral e longitudinal praticamente inexistente para tratamentos pressurizados

**Quadro 3.4- Classes de impregnabilidade da madeira (adaptado de NP EN 350-2:2008)**

Mais informação relativa à impregnabilidade da madeira poderá ser encontrada na norma EN 351-1:2007- *Durability of wood and wood-based products. Preservative-treated solid wood. Part 1: Classification of preservative penetration and retention.* e na EN 351-2:2007- *Durability of wood and wood-based products. Preservative-treated solid wood. Part 2:*

*Guidance on sampling for the analysis of preservative-treated wood.* Estas normas estabelecem a forma de classificar a madeira tratada relativamente à penetração dos produtos preservadores.

### **3.4.3. Exigência de classes de durabilidade natural face às classes de risco biológico**

A norma NP EN 460:1995- “Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Durabilidade natural da madeira maciça. Guia de exigências de durabilidade das madeiras na sua utilização segundo as classes de risco” faz a ligação entre as classes de risco biológico da aplicação e as classes de durabilidade natural da madeira.

Desta forma é possível, para cada classe de risco biológico atribuída ao local tendo em consideração o ambiente, determinar qual a classe mínima de durabilidade natural que a espécie de madeira deve possuir para responder às condições *in situ*. Uma escolha acertada da madeira a aplicar em obra fará com que a probabilidade de desenvolvimento de anomalias de ordem biológica diminua, e que a estrutura não apresente problemas a médio/longo prazo. Se a durabilidade da madeira escolhida for suficiente para a classe de risco a que estará exposta, não há necessidade de aplicação de um tratamento preservador. Caso esta situação não se verifique, passa a ser necessário um tratamento adequado para conferir à madeira a proteção necessária.

Informação sobre tratamentos preservadores adequados para cada espécie poderá ser encontrada na norma NP EN 599-1, 2:2009 – “*Durability of wood and wood-based products; Efficacy of preventive wood preservatives as determined by biological tests; Part1, Specification according to use class; Part 2: Classification and Labelling*”. Segundo Cruz & Nunes (2004), as medidas preventivas a aplicar à madeira podem ser de dois tipos: as que reduzem ou eliminam as probabilidades de ataque biológico, pois colocam a madeira em condições em que esse ataque não é possibilitado (com base no teor em água essencialmente), ou as medidas que recorrendo a produtos químicos impedem que o ataque se processe.

Segundo a norma NP EN 460:1995, a escolha de uma classe de durabilidade tendo em conta a classe de risco a que a estrutura estará sujeita, deverá ter em conta, além da suscetibilidade da espécie de madeira aos agentes biológicos, os seguintes pontos:

- Função estrutural ou não do elemento;
- Componentes difíceis de substituir ou renovar;
- Necessidade de prolongar a duração de serviço da estrutura;
- A localização do elemento de madeira apresenta um risco particular (situações de má drenagem por exemplo);
- Risco excepcional de ataque por organismos específicos do local (térmitas, xilófagos marinhos por exemplo);
- Exposição severa aos fatores climáticos.

Nestes casos, a norma refere que se deve optar por uma classe de durabilidade natural superior à mínima exigida pela classe de risco, de forma a aumentar o tempo de vida útil da estrutura.

No caso em que a peça serrada de madeira apresente cerne e borne na sua constituição, a norma NP EN 460:2013 tem em conta a menor durabilidade do borne, e exige que toda a peça seja avaliada tendo em conta a durabilidade do borne. Isto conduz a uma solução conservativa, mas que do ponto de vista da durabilidade da madeira impede que se promova o ataque de agentes biológicos e consequentemente se ponha em risco a segurança da estrutura.

Para os fungos lenhívoros, a norma estabelece as seguintes ligações entre durabilidade da madeira e condições de exposição - **Quadro 3.5:**

Classes de risco	Classes de durabilidade				
	1	2	3	4	5
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	(-)	(-)
3	-	-	(-)	(-) - (x)	(-) - (x)
4	-	(-)	(x)	x	x
5	-	(x)	(x)	x	x

**Quadro 3.5- Classes de durabilidade mínimas para fungos lenhívoros em função das classes de risco (NP EN 460:1995)**

Em que:

- - durabilidade natural é suficiente;
- (-) a durabilidade natural costuma ser suficiente mas para certas situações pode ser aconselhável um tratamento preservador;
- (-) – (x) a durabilidade natural pode ser suficiente mas tendo em conta a espécie, a permeabilidade e o seu uso final pode ser necessário um tratamento preservador;
- (x) tratamento preservador é necessário embora em certas situações possa ser dispensado; x tratamento preservador é estritamente necessário.

Relativamente às várias espécies de caruncho, a norma defende que as espécies de madeira consideradas suscetíveis pela norma NP EN 350:2008 devem ser tratadas com um produto preservador.



## 4. Técnicas de inspeção e diagnóstico de estruturas de madeira em serviço

### 4.1. Objetivo da inspeção e do diagnóstico de estruturas em serviço

Durante muitos anos a madeira foi utilizada como componente estrutural em Portugal, mas nem sempre foram tomadas as devidas precauções e efetuadas as devidas manutenções regulares. Estes tipos de situações implicaram muitas vezes que as estruturas enfrentassem problemas graves de degradação, muitas vezes só reconhecidos quando a estrutura já não tinha solução (Sousa *et al.*, 2013). Por falta de conhecimentos, pessoal ou material especializado, a inspeção e diagnóstico foram durante muitos anos negligenciadas, tendo conduzido consequentemente ao desperdício de custos, materiais e edifícios (Cruz, 2004).

Cada vez mais, defendendo o princípio da intervenção mínima nas intervenções (Cóias & Mateus, 2011), se torna relevante avaliar as estruturas de modo a encontrar soluções compatíveis com os materiais do edifício, não comprometendo a sua segurança e utilização (Farinha, 2014). Por este motivo, a escolha de técnicas que não afetem a estrutura é de extrema importância, evitando-se, se possível, a realização de ensaios destrutivos, que implicam, por exemplo, a extração de carotes na estrutura de madeira para ensaios em laboratório (Cruz *et al.*, 2015).

A avaliação da madeira torna-se assim o principal objetivo da inspeção e diagnóstico, de modo a poder determinar as características da madeira estrutural em uso (Palaia *et al.*, 2008). Só assim se garante que o uso da estrutura de madeira é maximizado, e caso sejam necessárias intervenções, que estas vão de acordo ao estritamente necessário, preservando o património e diminuindo custos (Cruz *et al.*, 2015). Uma correta avaliação permite determinar as capacidades estruturais, e classificar, caso se justifique, a madeira com recurso às normas de classificação já referidas nos **capítulos 2 e 3**.

Serão alvo de estudo deste trabalho os métodos não destrutivos (NDT's – *Non-destructive tests* na literatura inglesa) tradicionais e não tradicionais de diagnóstico e de inspeção de estruturas em madeira, bem como os parâmetros que fornecem e as boas práticas de utilização destes, e ainda a correta interpretação dos seus resultados. Dar-se-á especial ênfase à inspeção visual, que permitirá proceder à classificação visual, principal foco de estudo deste trabalho.

### 4.2. Métodos Tradicionais

Por métodos tradicionais entendem-se os ensaios e procedimentos que são primeiramente levados a cabo na inspeção de uma estrutura, por uma questão de simplicidade e eficiência. São normalmente métodos antigos, mas que continuam a fazer sentido numa primeira abordagem à estrutura. Seguidamente serão abordados os métodos mais comuns, de que forma devem ser realizados e que informações sobre a estrutura permitem retirar.

#### 4.2.1. Humidímetro

O Humidímetro, que também pode ser designado por Higrómetro, é utilizado quando há necessidade de determinar o teor em água de um elemento de madeira em serviço. Já foi referida neste trabalho, no **capítulo 2 e 3**, a importância que o teor em água tem na madeira, e de que forma a sua alteração a pode afetar, conduzindo a degradações de vários tipos.

Este tipo de aparelhos baseia o seu funcionamento na variação de condutibilidade elétrica com a água contida na madeira, que será tanto maior quanto maior for o teor em água (LNEC, 1997, c). Pode fazer-se a distinção entre os aparelhos de medição da resistência elétrica- **Figura 4.1**- ou de capacitância elétrica -**Figura 4.2**- (Machado, 2014). Noutras publicações, é feita a distinção dos humidímetros pelo modo como é efetuado o contacto entre o aparelho e a seção de madeira a examinar. Existem humidímetros de agulhas, para cravar na madeira, permitindo leituras em profundidade, entre 1-2 cm - **Figura 4.1** (humidímetro de resistência elétrica), em que se gera um campo elétrico em forma de bolbo em maior profundidade. A outra opção são os humidímetros de contato, apenas para encostar à peça, situação que se verifica quando a madeira apresenta uma superfície uniforme, ou com pequenas agulhas que cravam apenas alguns milímetros na madeira, criando um campo elétrico com uma profundidade menor - **Figura 4.2** (humidímetro de capacitância) (Branco & Sousa, 2014).



Figura 4.1-Humidímetro de resistência elétrica (Machado, 2014)



Figura 4.2- Humidímetro de contato ou capacitância (Cândido, 2013)

Sendo um aparelho de pequenas dimensões, é bastante simples de utilizar, permitindo leituras expeditas em vários pontos da estrutura (LNEC, 1997, c). Para que as medições sejam o mais corretas possível, é aconselhável que se proceda a pelo menos 3 medições ao longo da peça, e caso seja um humidímetro de agulhas, se façam medições até atingir a profundidade correspondente a 30% da espessura da peça, de forma a se obter o gradiente de teor em água da

peça (Machado, 2014). Os humidímetros de contato têm um campo de medições restrito a uma profundidade entre 25mm e 30mm, avaliando, portanto, apenas o teor em água nas camadas superficiais da madeira (Branco & Sousa, 2014). Os humidímetros de agulhas têm uma precisão de aproximadamente 2%, e os humidímetros de contato de aproximadamente 3% (Branco & Sousa, 2014 citando James, 1994).

Para se proceder a uma medição, deve-se cumprir as recomendações do fabricante, conhecer o gradiente de humidade da peça da madeira, a temperatura da peça bem como a direção do fio, pois os fabricantes pré calibram as medições consoante a direção deste (LNEC, 1997, c). A existência de tratamentos preservadores, sais dissolvidos ou tratamentos retardadores do fogo poderão também interferir com os resultados da medição (LNEC, 1997, c)

Caso seja necessário proceder-se a uma avaliação do teor em água mais rigorosa do elemento de madeira em estudo, será necessário proceder-se à extração de um provete de pequenas dimensões que deverá ser ensaiado em laboratório, através da secagem em mufla a 103°C, o que permite também estimar a massa volúmica da madeira em causa (Branco & Sousa, 2014).

#### **4.2.2. Inspeção visual**

A inspeção visual é a primeira técnica de inspeção a estruturas de madeira em serviço a ser aplicada, que permite identificar as principais características da estrutura e dos materiais que a constituem (Branco & Sousa, 2014). No caso de estruturas em madeira, a inspeção visual permite identificar defeitos intrínsecos da madeira, degradação biológica, além da caracterização geométrica das peças e da espécie de madeira. (Cruz *et al.*, 2015).

O principal objetivo da inspeção visual é o levantamento do estado de conservação e das características da estrutura em uso, de modo a que seja possível atribuir um valor de resistência mecânica, através do estabelecimento de uma classe de qualidade e respetiva classe de resistência, reconhecida pela normalização em vigor no panorama nacional e europeu (Machado *et al.*, 2009, a). Ao longo da inspeção é possível determinar uma série de fatores, tais como (Sousa *et al.*, 2014):

- o teor em água da madeira;
- a espécie da madeira;
- condições de desenvolvimento da madeira e intrínsecas desta – Dendrocronologia;
- os defeitos intrínsecos da madeira, como nós ou fendas;
- a degradação biótica ou abiótica presente na estrutura;
- a caracterização geométrica da estrutura, como o comprimento das peças e as dimensões de cada secção;
- Identificação de pontos e secções críticas da estrutura;
- Sinais de mudança das condições iniciais, como aumento de cargas, modificações estruturais, aumento da humidade e temperatura ambiente;

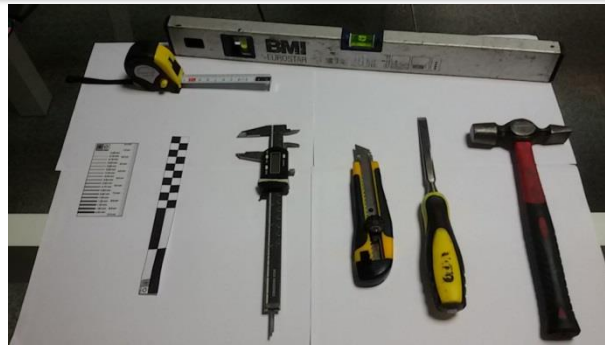
- Estado de ligações e apoios.

Deve ser realizada por técnicos qualificados, a curta distância, com recurso a ferramentas simples diretamente sobre a estrutura e em todo o desenvolvimento dos elementos (Palaia, 2007). Para se proceder à inspeção e avaliação dos elementos devem-se usar as ferramentas e objetos referidas em seguida -**Figura 4.3**-, embora possa haver necessidade de usar outras não mencionadas (Branco & Sousa, 2014):

- Pincel ou escova - limpeza da secção;
- Fita métrica - medição de elementos;
- Paquímetro - medição de secções;
- Régua de fendas - medição de abertura de fendas;
- Bloco e lápis - apontamento de medições;
- Régua de nível - medição do alinhamento dos elementos;
- Lâmina metálica ou objeto de corte semelhante - levantamento de películas superficiais da madeira;
- Formão - permite retirar lascas da madeira e raspar a superfície, para observação de características como a direção do fio;
- Espelho - reflexão de partes do elemento não acessíveis ou visíveis diretamente;
- Martelo ou maço - identificação de vazios/ degradação interior pelo som de percussão;
- Equipamento de proteção individual - como capacete e luvas;
- Escadotes ou escadas - para acesso a elementos em altura;
- Máquina fotográfica - para registo de imagens.

A inspeção deverá ser planeada previamente, de modo a não se esquecer nenhum detalhe ou informação, além de se escolher a melhor forma de inspecionar a estrutura (Branco & Sousa, 2014). Este trabalho prévio deverá incluir, além de uma listagem dos pontos mais importantes a seguir na inspeção, uma ficha de inspeção que deve complementar todos os parâmetros necessários para a classificação da madeira (Branco & Sousa, 2014; Sousa *et al.*, 2014). Num estudo prévio deve estar incluída uma investigação prévia do edifício, em que se identifica a sua data e forma de construção, os materiais utilizados, o uso dado ao edifício, projetos e fotografias, bem como as inspeções, ações de manutenção e reabilitação a que possa já ter sido sujeito (Cruz *et al.*, 2015).

Seguidamente deverá ser realizada uma caracterização da envolvente como o estudo da humidade relativa, exposição solar e condições de ventilação, bem como o aspeto exterior do edifício, para que se possam identificar quais as anomalias passíveis de serem encontradas nos elementos interiores (Branco & Sousa, 2014). Deformação do telhado, degradação de caixilharias, telhas partidas, fendilhações de rebocos, manchas de humidade e algerozes entupidos podem ser alguns dos sinais que permitem avaliar zonas problemáticas no interior (Cruz, 2004).



**Figura 4.3- Ferramentas para inspeção**

É importante garantir que as condições de inspeção são asseguradas, bem como garantir a segurança dos técnicos que efetuam a inspeção, com recurso a equipamentos de proteção coletiva e individual adequados (Branco & Sousa, 2014). Deve ser garantida a acessibilidade aos elementos, pois é necessário observar de perto e efetuar medições para cada elemento (Feio & Lourenço, 2005). Quando estes estão incluídos na restante edificação, caso dos pavimentos ou paredes, terá de ser necessário expor toda a madeira, apesar de existirem situações em que isso se torna praticamente impossível, como em zonas de apoio (Branco & Sousa, 2014). Neste caso poderá haver necessidade de retirar os elementos dos locais originais para efetuar a correta avaliação (Machado *et al.*, 2009, a).

A iluminação é outra condição a ter em conta, principalmente quando a luz natural não é suficiente (Cruz *et al.*, 2015). Deve ser pensado um esquema de iluminação geral, e também a existência de pontos de luz portáteis, bem como o uso de lanternas, que poderão ser de bolso ou acopladas a um capacete, permitindo liberdade de movimentos ao técnico (Cruz *et al.*, 2015).

Por último, deve-se garantir a limpeza dos elementos, para que se observe corretamente a madeira, e as características exteriores, como nós ou degradações biológicas (Feio & Lourenço, 2005). A quantidade de sujidade será tanto maior quanto mais antiga for a estrutura, e poderá ser um conjunto de sujidade simples como pó ou areias com fragmentos originários de degradação biológica, como serrim, asas soltas ou bolores por exemplo, que deve ser expeditamente examinada para identificação dos agentes patológicos (Cruz *et al.*, 2015). Ao ser retirada esta camada superficial de sujidade, pode ocorrer uma diminuição de secção do elemento, ficando apenas a secção residual (Branco & Sousa, 2014).

Durante a inspeção, proceder-se-á a medições de anomalias, que devem ter o seu método de medição previamente explicitado nas fichas de inspeção, para que, durante o tratamento de dados se possa identificar em concordância com as normas em vigor, o intervalo de valores aceites para as medições (Cruz, 2014). Deste modo, poderá classificar-se a madeira em serviço, diminuindo o fator subjetividade, que se verificar de medições para medições, efetuadas por técnicos diferentes, ou até pelo mesmo, em tempos distintos (Sousa *et al.*, 2014).

No final da inspeção visual ter-se-á um mapa de medições da estrutura, relativo aos vários elementos, apoios e ligações, com informações de cariz geométrico, características intrínsecas e de defeitos da madeira (Sousa *et al.*, 2014).

### **4.3. Métodos não tradicionais**

Por métodos não tradicionais entende-se o uso de aparelhos ou técnicas que permitem fazer leituras mais ou menos diretas de parâmetros da madeira, ou estudar a constituição e desenvolvimento das peças de madeira (Feio & Lourenço, 2005). São utilizados maioritariamente após a avaliação preliminar, quando já se procedeu a um reconhecimento das principais anomalias e seções mais prejudiciais, permitindo informações adicionais (Feio & Lourenço, 2005). Permitem assim avaliar defeitos ocultos, não detetáveis por simples inspeção visual, e atribuir características à madeira.

#### **4.3.1. Métodos Globais de ensaio**

Nos métodos globais de ensaio (GMT's – *Global method tests* na literatura inglesa), incluem-se os aparelhos que efetuam um estudo mais geral à peça de madeira, não se restringindo a uma pequena secção, como no caso dos métodos locais (Feio & Lourenço, 2005).

##### **4.3.1.1. Raios-X**

O método por raios-X foi um dos primeiros métodos de inspeção a ser estudados e utilizados na avaliação de estruturas de madeira em serviço (Feio & Lourenço, 2005). Ao expor o material a examinar a energia radiográfica, na ordem dos 150 kV (Henriques, 2011), permite obter uma imagem a duas dimensões do elemento, o que se torna útil para estudar o interior deste, nomeadamente a extensão de um ataque biológico (Pereira, 2009). Isto é possível pois a penetração deste tipo de radiação está intimamente relacionada com a densidade do material que atravessa, sendo por isso sensível a mudanças de densidade existentes, caso da degradação biológica, por exemplo (Feio & Lourenço, 2005). Outra vantagem do uso deste método, segundo Feio & Lourenço (2005) é, no caso do ataque biológico ainda estar ativo, a possibilidade de identificar o agente degradador em causa.

Como desvantagem apresenta o facto de ser um método dispendioso, complexo, acrescentando ainda os cuidados necessários a ter na sua utilização, por ser uma radiação prejudicial à saúde humana (Henriques, 2014, c). Em substituição, os raios gama têm-se mostrado vantajosos, visto não serem prejudiciais à saúde humana além de proporcionar uma imagem em tempo real da madeira do elemento em análise (Pereira, 2009).

##### **4.3.1.2. Ultra-sons**

O funcionamento de um aparelho de Ultra-sons baseia-se essencialmente no princípio da diferença de velocidades de propagação de ondas através de um meio sólido (Branco & Sousa, 2014). É constituído por um emissor que emite um impulso sonoro ou impulso ultrassónico, e por um recetor que vai receber esse impulso (Cunha, 2013). A localização destes emissores

permitirá realizar medições indiretas, que se verificam quando emissor e recetor se encontram na mesma face da peça, medições diretas, quando o emissor e o recetor se encontram em faces paralelas, e por fim medições semidirectas, que se verificam quando o emissor e o recetor são colocados em faces perpendiculares (Branco & Sousa, 2014). No caso da madeira, os resultados serão menos dispersos se a localização do emissor e do recetor seguir a orientação das fibras. No caso de peças aplicadas em serviço, torna-se difícil realizar medições diretas, pois esta localização é na maioria das vezes nos topos, nem sempre acessíveis, das peças, pelo que normalmente só será possível realizar medições indiretas.

A velocidade de propagação da onda emitida e recebida pelo aparelho permite em conjunto com as propriedades elásticas da madeira, relacionar o módulo de elasticidade estático com o módulo de elasticidade dinâmico, sendo que para elementos prismáticos, isotrópicos e homogéneos este último pode ser calculado pela equação (Palaia, 2007; Feio & Lourenço, 2005):

$$E_{din} = v^2 * \rho \quad (4.1)$$

Em que:

$E_{din}$  – Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)

$v$  – Velocidade da onda (m/s)

$\rho$  – Massa volúmica da amostra ( $\text{Kg/m}^3$ )

Segundo Palaia (2007), o valor obtido para o módulo de elasticidade dinâmico através desta fórmula é cerca de 5% superior ao valor obtido para este mesmo parâmetro por ensaio à flexão. Deste modo pode-se relacionar o módulo de elasticidade dinâmico com o módulo de elasticidade estático através da seguinte equação (Branco & Sousa, 2014):

$$E_{est} = K * E_{din} = K * v^2 * \rho \quad (4.2)$$

Em que:

$E_{est}$  – Módulo de elasticidade estático (MPa)

$K$  – Constante de proporcionalidade intrínseca da espécie de madeira em causa.

Segundo Branco & Sousa (2014) citando Bonamini *et al.*, (2001), a relação entre o módulo de elasticidade dinâmico e o módulo de elasticidade estático ( $E_{din} \geq 0,9E_{est}$ ) é explicada pelo comportamento viscoelástico da madeira, existindo relações lineares que podem modelar esse mesmo comportamento.

Neste ensaio existem vários parâmetros a ter em conta, como a velocidade de transmissão da onda, que será tanto maior quanto mais denso for o material (Feio & Lourenço, 2005). A frequência de onda e comprimento de onda, inversas uma da outra, pois influenciam a deteção e atenuação de defeitos, com uma frequência maior a detetar mais facilmente defeitos menores, e uma frequência menor a evitar a atenuação dos defeitos (Branco & Sousa, 2014). A ligação

entre os transdutores e o elemento também é importante, pois uma ligação que não seja perfeita provocará erros de leitura, pois a existência de ar na ligação provoca uma diminuição de velocidade da onda (Feio & Lourenço, 2005). Outro dos fatores a ter em conta quando se executam medições com este tipo de ensaios é o teor em água e a temperatura, pois a velocidade da onda será tanto maior quanto maior forem estes valores (Feio & Lourenço, 2005; Júnior, 2006). A escolha da direção em que se procederá ao ensaio é, como já referido acima também importante, devido à inacessibilidade de algumas zonas de acoplamento preferencial. Assim, deve-se ter em atenção a escolha do eixo alternativo, pois no caso do sentido transversal, a velocidade de onda é três vezes menor do que no sentido longitudinal (Feio & Lourenço, 2005).

Relativamente às vantagens e desvantagens deste tipo de ensaio, destacam-se essencialmente as seguintes (Júnior, 2006; Cunha, 2013; Cruz, 2004) - **Quadro 4.1**:

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"><li>• Fácil de utilizar e transportar em casos de madeira em serviço, leve e de pequenas dimensões;</li><li>• Boas correlações com o módulo de elasticidade dinâmico;</li><li>• Permite detetar a existência de anomalias, como fendas e degradação biológica por exemplo;</li><li>• Preciso e eficiente;</li><li>• Baixo custo, comparativamente a outros NDT's.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sensível às variações das características do elemento;</li><li>• Exigente acoplamento dos transdutores;</li><li>• Experiência da parte do técnico;</li><li>• Implica um conhecimento prévio das características do elemento a ensaiar;</li><li>• Necessidade de calibração;</li><li>• Condicionais relativos à direção a usar no ensaio.</li></ul>

**Quadro 4.1- Vantagens e Desvantagens do ensaio de Ultrassons**

Ao nível dos aparelhos de ultrassons mais utilizados, destacam-se essencialmente dois. O Sylvatest, que se divide em Sylvatest Duo- **Figura 4.4-** e Sylvion (Psion) caracteriza-se por ter os transdutores em forma cónica, que se adaptam às irregularidades da madeira (Cândido, 2013; Zombori, 2001). Este aparelho funciona para baixas frequências, da ordem dos 20kHz.



**Figura 4.4-Sylvatest Duo (Collar, 2009)**

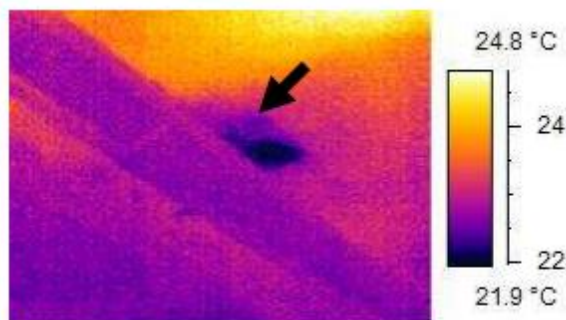
O outro aparelho é o Pundit – **Figura 4.5-** (*Portable Ultrasonic Non destructive Digital indicating tester*), este é de maiores dimensões que o anterior, funciona em frequências mais elevadas (até 150 kHz), tem os transdutores cilíndricos que serão acoplados ao elemento através de um gel, água ou outro líquido lubrificante, para maximizar o contacto, evitando erros de leitura (Zombori, 2001; Proceq, 2003).



**Figura 4.5-**Pundit, em ensaio indireto no sentido das fibras (Sousa *et al.*, 2014)

#### 4.3.1.3. Termografia

Este ensaio baseia-se nas radiações térmicas que cada material emite quando exposto a uma fonte de calor, através de radiação infravermelha e da emissividade característica de cada material (Mendonça *et al.*, 2005). Pelas leis da física, todos os corpos com temperaturas acima do zero absoluto, emitem calor, que é detetado por aparelhos termográficos, possibilitando a atribuição de uma temperatura a determinado elemento (Mendonça, 2005). Este ensaio é especialmente interessante, pois permite detetar elementos que estejam inseridos no interior de elementos construtivos, como madeira em paredes de frontal (Cândido, 2013). Permite também detetar a presença de água – **Figura 4.6-**, o que no caso da inspeção de uma estrutura de madeira em serviço, pode indicar a origem de problemas de degradação biológica, nomeadamente as podridões (Mendonça, 2005). Este ensaio necessita, para a sua realização, de uma fonte emissora de calor, que poderá ser o sol, e de uma câmara termográfica. (Mesquita, 2011) Este método de ensaio, se realizado em paramentos exteriores, está sujeito às condições meteorológicas, como a existência de nuvens, vento, neve ou chuva (Mesquita, 2011).



**Figura 4.6-** Infiltração detetada por termografia (Mendonça, 2005)

#### 4.3.1.4. Georradar

O funcionamento do Georradar baseia-se na análise da propagação de ondas eletromagnéticas na banda de frequências UHF- VHF (entre 100MHz e 1,5 GHz) (Júnior, 2006, Mesquita, 2011). Tal como o ensaio por ultrassons, o ensaio com recurso a Georradar está condicionado pela anisotropia, higroscopicidade e heterogeneidade do material, permitindo detetar anomalias na madeira a ensaiar, como fendas, nós ou degradação de ordem diversa (Cândido, 2013 citando Bastos, 2011). A incidência das ondas eletromagnéticas nas heterogeneidades da madeira (com as anomalias ou degradações), provocará fenómenos de reflexão, refração e deflexão, que serão posteriormente captados por uma antena (Collar, 2009). É um método simples de utilizar, embora necessite de técnicos especializados e informações preliminares para realizar os ensaios- **Figura 4.7-** (Mesquita, 2011).



**Figura 4.7-** Ensaio de Georradar (Mesquita, 2011)

#### 4.3.2. Métodos Locais de ensaio

Nos métodos locais de ensaio (LMT's- *Local method tests* na literatura inglesa), incluem-se os aparelhos que efetuam um estudo mais pormenorizado da peça, restringindo-se a uma secção já previamente estipulada como sendo de particular interesse. Baseiam-se essencialmente no estudo da secção da secção residual resistente, e são mais usados em complemento da inspeção visual (Feio & Lourenço, 2005).

##### 4.3.2.1. *Pilodyn*®

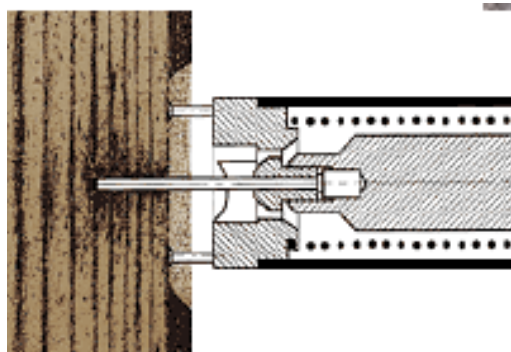
O *Pilodyn* ® é um aparelho que foi inicialmente pensado para determinar a resistência mecânica e a massa volúmica de elementos de madeira sã e com sinais de degradação (Feio & Lourenço, 2005). O ensaio de resistência à penetração por impacto que este aparelho permite realizar, crava na madeira um pino metálico de 2,5mm de diâmetro (existe também a opção de 1,5mm e 2,0mm consoante a espécie da madeira, embora menos comum), com uma energia pré determinada, para que se possa relacionar a profundidade atingida pelo pino com a dureza da madeira a ensaiar- **Figura 4.8-** (Zombori, 2001). A profundidade atingida pelo pino, ou agulha como também pode ser designado, é inversamente proporcional à dureza e à massa volúmica da madeira em análise, o que é um indicativo das propriedades superficiais da madeira. Possibilita, além da avaliação da resistência intrínseca da madeira, a deteção de degradação de vários tipos (Hansen, 2002). Existem estudos já realizados, nomeadamente de Henriques (2011) que será desenvolvido no **capítulo 6**, que permitem correlacionar a profundidade obtida no ensaio com a

massa volúmica do elemento. No entanto este aparelho não permite especificar qual a origem concreta de uma maior penetração na madeira (Branco & Sousa, 2014). A profundidade máxima de penetração passível de atingir com este aparelho é de 40 mm (Hansen, 2002).

O pino é cravado na madeira através do acionamento de uma mola de força constante e rigidez conhecida, permitindo que a energia potencial elástica se liberte e que se transforme em energia de impacto (Feio & Lourenço, 2005). Depois de colocada a agulha com a peça própria para o efeito, o aparelho deve ser colocado em posição perpendicular à estrutura, os pernos devem estar estáveis e encostados à estrutura- **Figura 4.9-** e só depois deve ser acionado o aparelho (Hansen, 2002). A leitura da profundidade de cravação é medida numa escala em milímetros, situada numa das laterais do aparelho. Branco & Sousa (2014) referem que existem valores para correção da profundidade de penetração que têm em conta se a medição foi feita na horizontal ou na vertical.



**Figura 4.8- Pilodyn® 6J**



**Figura 4.9- Posicionamento correto do aparelho (TerraGes)**

O ensaio deve ser repetido várias vezes para que se possa equilibrar as diferentes medições decorrentes das variações características da alternância entre os anéis de primavera e os anéis de outono (Cruz, 2013). Feio & Lourenço (2005) defendem que se deve proceder no mínimo a cinco leituras, enquanto Branco & Sousa (2014) defendem que se deve proceder a 3 medições no espaço de 5cm na direção perpendicular ao alinhamento do fio, e efetuar a média das medições.

Existem vários modelos de aparelhos, entre eles o *Pilodyn* 6J® (mais comum), O *Pilodyn* 12J® e o *Pilodyn* 18J® (que possuem uma mola com maior rigidez), e o *Pilodyn* 4JR® (que permite múltiplos acionamentos) (Feio & Lourenço, 2005). O aparelho é fornecido com uma capa protetora, peça para a colocação do pino no aparelho, e restantes peças necessárias ao bom funcionamento deste (TerraGes). Todos eles são de pequenas dimensões e com as características no **Quadro 4.2** (adaptado de TerraGes- *Pilodyn* para avaliação de madeira *in situ*):

O *Pilodyn*® avalia apenas as características superficiais da madeira, sendo um ensaio unidirecional, só detetando os defeitos que intersecta, sendo estas algumas das suas principais desvantagens (Palaia *et al.*, 2008; Sousa *et al.*, 2014). Por este motivo é aconselhável o uso de outros métodos de ensaio, nomeadamente o Resistógrafo, que permite avaliar em maior profundidade o elemento (Neves, 2013; Sousa *et al.*, 2014). Por consequência, os dois ensaios devem-se realizar na proximidade um do outro para que possa haver comparação e complemento de resultados (Cruz, 2013). Outra desvantagem é o fato das medições estarem sujeitas a fatores como a temperatura do ambiente e o teor em água do elemento de madeira a estudar (Hansen, 2002). Quanto maior for o teor em água de um elemento, maior é a profundidade de penetração expectável de ser atingida no ensaio, pois uma maior quantidade de água presente na estrutura celular da madeira, provoca um pequeno enfraquecimento do material (Martins, 2009).

Devido à execução de pequenos orifícios, é necessário aplicar um tratamento preservador após o ensaio, para evitar que seja um foco de ataque biológico, seja por pincelagem, injeção ou projeção.

Especificações técnicas do aparelho	
Força de Perfuração	6 Joules-Nm
Peso do aparelho	1,6Kg
Dimensões do aparelho	50mm (diâmetro) x 355mm (comp.)
Diâmetro de perfuração	2,5mm

**Quadro 4.2-** Especificações técnicas do *Pilodyn*® (adaptado de TerraGes - *Pilodyn* para avaliação de madeira *in situ*)

#### 4.3.2.2. Resistógrafo

O ensaio de resistência à perfuração controlada é realizado através de um equipamento que avalia a resistência oferecida pela madeira à perfuração por rotação, com base na energia despendida de uma broca de tungsténio de 1,0mm a 1,50mm de diâmetro e com um comprimento máximo de 1500mm (Rinn *et al.*, 1996). Importa referir que a ponta da broca tem aproximadamente o dobro do diâmetro da haste, num máximo de 3 mm, para que seja avaliado apenas o atrito de ponta e não o lateral- **Figura 4.10-** (Zombori,2001).

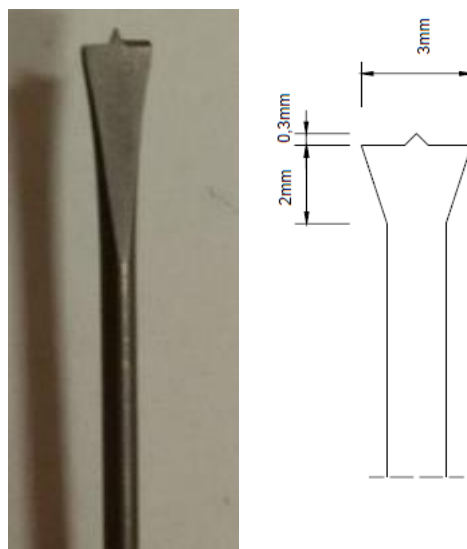


Figura 4.10- Aspeto da broca do Resistógrafo (Júnior, 2006)

Tal como referido em 4.3.2.1, deve ser usado em conjunto com o *Pilodyn*®, pois ao contrário deste último, permite fazer uma avaliação interna da madeira, avaliando não só as características da madeira, como também a presença de defeitos intrínsecos desta, como nós ou fendas, e a presença de degradação biológica, como as galerias provocadas por caruncho ou podridão de vários tipos, permitindo fazer o traçado da seção residual (Palaia *et al.*, 2008). Este estudo é tão pormenorizado que pode até detetar as mudanças entre anéis de crescimento de primavera e de outono (Rinn *et al.*, 1996). Esta avaliação é feita por um perfil traçado à escala real e em tempo real pelo aparelho que permite detetar as condicionantes suprarreferidas (Branco & Sousa, 2014). No eixo das abcissas encontra-se a largura da peça em milímetros, e no eixo das ordenadas a resistência da madeira à perfuração com agulha (Palaia, 2007).

Este gráfico obtido no ensaio pode ser analisado analiticamente através do parâmetro resistográfico ou *resistographic measure* (*RM*), que é dado pelo integral da área compreendida entre o perfil de resistência -**Figura 4.11**- e o eixo do *xx* (*Área*) em relação ao comprimento de perfuração (*h*) pela equação (Branco & Sousa, 2014).

$$RM = \frac{\int_0^h \text{Área}}{h} \quad (4.3)$$

Este valor de *RM* pode ser correlacionado com a resistência do elemento de madeira em estudo, visto que quanto maior for a área resistográfica, maior será a massa volúmica da madeira. (Branco & Sousa, 2014). Importa referir que a análise de *RM* só deverá ser executada em zonas de madeira sã, tendo em atenção que as leituras efetuadas em zona de madeira degradada irão fornecer outro tipo de informações, que não devem ser analisadas em conjunto com as leituras em madeira sã, pois irão induzir em valores erróneos.



Figura 4.11- Área resistográfica

O valor de RM (para zonas sãs da madeira) pode ser correlacionado com a massa volúmica, e com outras propriedades da madeira tendo em conta a espécie em estudo, o teor em água desta e a velocidade a que o ensaio foi realizado (Henriques, 2011 citando Cruz *et al.*, 1999). Henriques (2011), desenvolveu estudos que relacionam a medida resistográfica de madeira de pinho bravo e casquinha com a massa volúmica, que, ao contrário do ensaio com o *Pilodyn*®, não serão aplicados neste trabalho pelo facto de o aparelho em uso neste caso prático não ser do mesmo modelo do que permitiu a obtenção das correlações, não se garantindo assim a sua aplicabilidade. Existem também estudos que permitiram relacionar o perfil da peça de madeira em estudo obtido através do aparelho com os perfis de massa volúmica obtidos através de ensaios feitos com recurso a raio-x (Rinn *et al.*, 1996)

O aparelho é constituído por um tubo telescópico onde se encontra a broca, dois motores, um para a alimentação constante que garante o avanço da agulha e outro para a rotação desta (Feio & Lourenço, 2005). Através de cabos, o tubo telescópico está ligado a uma caixa de armazenamento de dados, onde será impresso o perfil obtido com o ensaio ou, caso o aparelho em questão possua essa funcionalidade -**Figura 4.12**, armazenado em formato digital, e um carregador de bateria que garantirá a portabilidade do aparelho em obra (Feio & Lourenço, 2005). Tendo em conta os vários modelos possíveis, o Resistógrafo poderá ter um conjunto de velocidades que poderão ser aplicadas da melhor maneira consoante a madeira em estudo (Cândido, 2013).



Figura 4.12- Resistógrafo IML Resi

Relativamente à utilização do aparelho, deve ser colocado em posição perpendicular à peça,- **Figura 4.13** -, e com os pontos de apoio corretamente apoiados na estrutura (Martins, 2009). Só depois se deve acionar o aparelho, e mante-lo na mesma posição para não afetar a medição, nem se correr o risco de danificar a agulha (Cândido, 2013).

Como desvantagens apresenta o facto de também deixar um orifício no local do ensaio, que terá de ser convenientemente tratado para evitar problemas futuros (Martins, 2009). Outro dos problemas prende-se com o manuseamento dificultado em casos com pouco espaço, com partes constituintes pesadas (Sousa *et al.*, 2014). Envolve também conhecimento prévio da secção a ensaiar, como a orientação dos anéis de crescimento, presença de medula ou de lenho juvenil, e a estrutura interna da madeira (Cruz, 2013).



**Figura 4.13- Utilização do Resistógrafo IML Resi em elementos horizontais**

#### **4.3.2.3. Boroscopia**

Este ensaio consiste numa inspeção visual ao interior do elemento de madeira, mas com recurso a um aparelho com um instrumento ótico na ponta (Cóias, 2010). Quando existem orifícios com dimensões suficientes, estes podem ser utilizados no ensaio. Quando não existem locais naturais para se executar o ensaio, procede-se à execução de orifícios com aproximadamente 10 mm, que comparativamente com a dimensão de outros ensaios, atribui à boroscopia um carácter quase destrutivo. Relativamente à utilização do aparelho, a ponta com o instrumento ótico é introduzido no local a observar, enquanto uma fonte de iluminação conduz um feixe de luz para que seja possível do outro lado da haste através do prisma e da ocular observar o interior da peça- **Figura 4.14** -.Este sistema permite uma observação expedita do interior, com visualização quase a toda a volta do orifício, com poucos ângulos mortos, com a possibilidade de montagem de uma pequena câmara na ótica para captação de imagens. Como desvantagem apresenta a necessidade de execução de mais orifícios no elemento de madeira. (*in* Observação boroscópica de cavidades e fendas)



Figura 4.14- Observação boroscópica (*in* Observação boroscópica de cavidades e fendas)

## 5. Classificação visual de elementos estruturais de madeira em serviço

### 5.1. Âmbito da classificação

A classificação de madeira é um procedimento obrigatório para a madeira nova para estruturas, sendo vasta a normalização existente que permite classificar a madeira, atribuindo-lhe não só uma classe de qualidade, como também uma classe de resistência (Branco & Sousa, 2014). Cada país possui as suas próprias normas, tendo em conta as espécies de madeira que utiliza mais recorrentemente na sua construção, tendo também em conta os seus métodos construtivos, adaptando assim as normas às suas necessidades e conhecimentos (Branco & Sousa, 2014).

Para a madeira em serviço a situação já se modifica, existindo pouca normalização que permita avaliar de forma expedita e adequada os elementos aplicados (Machado et al., 2009, a). Até agora, a Itália apresenta a única solução normativa para madeira em serviço, a norma UNI 11119:2004, que estabelece 3 classes de qualidade (I, II e III, em ordem decrescente de qualidade), que depois permite caracterizar mecanicamente sete espécies de madeira produzida em Itália (Pinho, Castanho, Abeto Branco, Espruce europeu, Larício, Choupo e Carvalho). É uma norma muito simples de interpretar e utilizar, com a vantagem de permitir avaliar tanto madeiras de resinosas como de folhosas, e atribuir-lhes valores característicos para as várias tensões a que possa estar sujeita, valores sempre para teores em água de 12%. Os valores característicos que se obtêm na norma são suficientes para o cálculo estrutural que seja necessário para a estrutura.

Ao adaptar as normas de classificação de madeira nova para estruturas de madeira em serviço, Machado *et al.* (2009, a), defende que se deve ter em conta uma série de pormenores, para que não se avalie por excesso a estrutura, isto é, não se apliquem critérios de forma despropositada, que em última instância vão classificar a madeira como de uso não estrutural, mesmo que a sua capacidade estrutural seja adequada para o caso em estudo.

Certos defeitos considerados nas normas não afetam as propriedades mecânicas da madeira em serviço, como o descaio, sendo que a sua presença, além dos efeitos estéticos, só poderá afetar a colocação do material em obra, o que no caso de uma estrutura em serviço não se aplica, pois o material já está em serviço (Machado *et al.*, 2009, a).

Relativamente à degradação biológica, as normas para madeira nova não permitem que a madeira a aplicar em obra possua qualquer sinal de degradação para além de azulamento, com dimensões máximas estabelecidas. Esta exigência é feita, a fim de evitar a infestação de outros elementos. No caso de madeira em serviço atacada biologicamente, o que importa saber, para além da extensão e atividade do ataque, é se a peça ainda possui capacidade estrutural adequada, pela avaliação da sua secção residual (Machado *et al.*, 2009, a).

Na maioria dos casos, a presença de medula na peça é sinónimo de rejeição na classificação de madeira nova, pois como já mencionado em 2.2.3.7, a medula e o lenho juvenil existente nas proximidades desta, têm capacidades mecânicas inferiores comparativamente ao restante lenho. Porém, em madeiras em serviço não é especialmente importante, devido às dimensões usualmente elevadas das peças (140x160 mm<sup>2</sup> ou até mesmo 200x220 mm<sup>2</sup>) (Machado et al., 2009, a).

Relativamente às fendas, se forem tidos em conta os limites existentes nas normas para madeira nova, na grande maioria das situações irá conduzir à necessidade de substituição das peças, sem que, na verdade, a existência de fendas possa comprometer a segurança estrutural da estrutura. O critério de rejeição ou aceitação é o mesmo que no caso da presença de medula: as secções para as quais as normas são elaboradas são de pequenas dimensões: 50x150 mm<sup>2</sup>, por exemplo. Tal como referido acima, em madeira em serviço, as dimensões das secções são usualmente bastante maiores, muito devido à falta de conhecimento de cálculo estrutural, sendo a presença de fendas avaliada tendo em conta as suas dimensões e o tipo de elemento em que estão inseridas (Machado et al., 2009, a).

Assim, Machado *et al.* (2009, a) defendem que, para a classificação de madeira em serviço se podem adotar as normas de classificação visual de madeira nova, sendo apenas necessário avaliar três fatores: os nós, a taxa de crescimento e a inclinação do fio. Relativamente à degradação biológica, será, tal como referido acima, avaliada a extensão e atividade do ataque, para que se possa determinar a secção residual, e, caso se aplique, proceder à escolha de um tratamento curativo adequando bem como às ações de reabilitação necessárias.

## 5.2. Critérios de medição de defeitos e anomalias

### 5.2.1. Identificação da espécie

Para se proceder à classificação visual da madeira em serviço, é necessário antes de mais identificar a espécie de madeira, para que se possa saber quais as características expectáveis de determinar, bem como as normas a ser seguidas (Branco & Sousa, 2014; Cruz *et al.*, 2015). Só desta forma se pode proceder à atribuição de uma classe de qualidade e consecutivamente de uma classe de resistência mecânica (Machado et al., 2009, a).

A identificação da espécie de madeira é usualmente conseguida através da inspeção de parâmetros característicos de cada espécie como o aspeto do fio de madeira, os anéis de crescimento, a coloração e caracterização dos nós (como a sua quantidade, forma, dimensões e espaçamento entre os nós), sendo por isso a identificação da espécie influenciada pela experiência do técnico que está a realizar a inspeção (Branco & Sousa, 2014; Machado et al., 2009, a; Cruz *et al.*, 2015).







É comum a presença de mais do que uma espécie de madeira numa mesma estrutura, pelo que é necessário ter em conta essa situação, para que não se proceda a uma identificação errónea da

espécie de madeira (Feio & Lourenço, 2005). Deve também estudar-se os métodos construtivos e espécies de madeiras mais comuns no local onde se localiza a estrutura a inspecionar, para que se possa diminuir o leque de possibilidades de espécies a encontrar (Machado *et al.*, 2009; Feio & Lourenço, 2005)

Devido ao aspeto envelhecido e sujo da madeira, muitas vezes torna-se difícil a identificação da espécie desta apenas pela observação da superfície, sendo por isso necessário proceder à extração de amostras do elemento, para que possa ser identificada em laboratório, ou proceder-se a uma raspagem superficial com recurso a um formão, para que se possa observar a madeira sã, não exposta ao ambiente ou agentes (Cruz *et al.*, 2015).

Machado *et al.* (2009, a) defendem que a grande maioria dos edifícios em Portugal são constituídos por três espécies de madeira de resinosas: Casquinha, Pinho bravo e Pitespaine, e três de folhosas: Castanho, Eucalipto e Carvalho europeu. Por este motivo, identificou as principais características de cada espécie, que, numa primeira abordagem, e de forma grosseira, permitem sustentar a identificação da madeira, como resumido no **Quadro 5.1**.

Machado *et al.* (2009, a) referem ainda que apesar das espécies supramencionadas serem as mais comuns na construção antiga em Portugal, deve-se ter em conta que se podem ter utilizado outras madeiras, importadas ou endémicas da região onde se situa o edifício. Exemplo disso são o Pinho mole (*Pinus stobus*), a Teca (*Tectona grandis*), o Ipê (*Tabebuia spp.*) e o Cedro da Madeira (*Juniperus cedrus*).

Espécie	Pinho Bravo	Pitespaine	Casquinha
<b>Cerne</b>	vermelho claro	castanho avermelhado a alaranjado	avermelhado- acastanhado
<b>Borne</b>	esbranquiçado ou branco-amarelado	branco-amarelado a amarelo pálido	amarelo
<b>Camadas de Crescimento</b>	distintas, largura variável	anuais distintas, transição entre lenhos abrupta, lenho de outono carregado	marcadas e regulares, lenho de outono ocupa mais de 1/3 da camada anual
<b>Aspetto</b>			
Espécie	Carvalho europeu	Castanho	Eucalipto
<b>Cerne</b>	castanho escuro	acastanhado, até rosado	castanho avermelhado
<b>Borne</b>	branco amarelo	branco-amarelado	amarelo acastanhado
<b>Camadas de Crescimento</b>	distintas, variação brusca entre lenho de outono e primavera. Veio espelhado na secção tangencial	distintas devida a variação entre lenhos. Veio da madeira no sentido radial e tangencial devido às camadas	distintas devido a bandas de tecido mais denso sem poros
<b>Aspetto</b>			

Quadro 5.1- Identificação visual das espécies mais comuns em Portugal (adaptado de Machado et al., 2009, a)

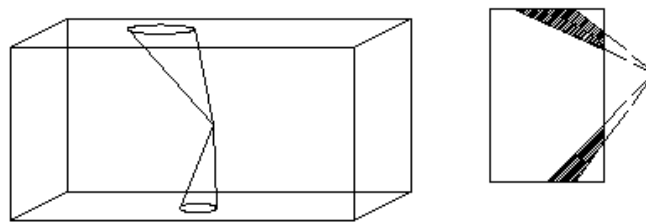
### 5.2.2.Nós

Os nós são o tipo de defeito da madeira que mais afeta a resistência mecânica desta, devido ao desvio do fio que provoca, e consecutivo desvio de distribuição de tensões (Branco & Sousa, 2014; Cruz *et al.*, 2015). Por este mesmo motivo é o único defeito intrínseco da madeira que Machado *et al.*, (2009, a) considera importante para caracterizar a madeira existente segundo as normas.

Na norma nacional NP 4305:1995, a medição de nós é feita através da determinação do KAR, *Knot Area Ratio*, que de uma forma simplificada quantifica a área que o nó ocupa na secção transversal do elemento em estudo, não se limitando apenas a medir a sua dimensão na superfície da peça. Como não se consegue visualizar o interior da secção onde o nó se encontra, faz-se a medição do nó na superfície, e quantifica-se virtualmente o desenvolvimento do nó no interior, estimando que este se desenvolve para a medula da madeira, com uma forma

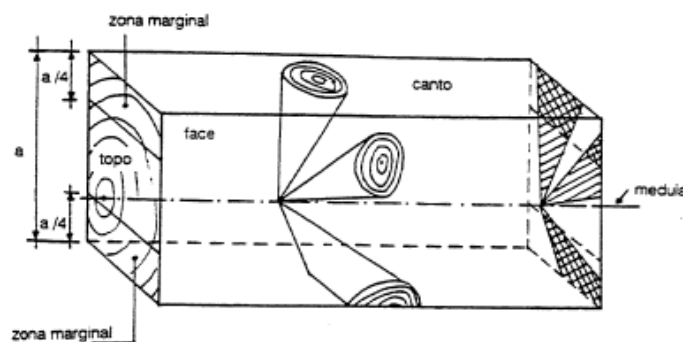
semelhante a um cone- **Figura 5.1-** (NP 4305:1995). Caso a medula se situe ainda na peça, o vértice do cone do nó estará no interior da peça, caso não seja, ter-se-á que prolongar o desenvolvimento do cone do nó para o exterior -**Figura 5.1.**

O KAR Total, é o índice de nós na secção total, ou seja, e citando a NP 4305:1997, é a proporção da secção transversal de uma peça ocupada pela projeção de um nó ou de um grupo de nós, relativamente à secção transversal total. O KAR Marginal, é o índice de nós na secção marginal, ou seja, e citando a NP 4305:1997, é a proporção de uma secção marginal de uma peça ocupada pela projeção de um nó ou de um grupo de nós. A norma NP 4305:1995 define a secção marginal como a cada uma das zonas próxima de ambos os cantos de uma secção transversal, que ocupa, cada uma, um quarto da superfície transversal total da peça- **Figura 5.2.**



**Figura 5.1-Desenvolvimento do cone do nó no interior ou exterior da secção**

No caso de nós isolados, a norma defende que se faz a avaliação pelo KAR Total e pelo maior KAR Marginal. No caso de nós agrupados, que se determinam se o fio não recuperar o alinhamento entre eles, o KAR Total e o KAR Marginal são calculados para o conjunto dos nós. Em termos de avaliação, não se faz distinção entre nós mortos, vivos ou soltos.



**Figura 5.2-Desenvolvimento de nós, e secções (NP 4305:1995)**

### 5.2.3. Inclinação do fio

Relativamente à inclinação do fio, a NP 4305:1995 segue a metodologia da EN 1310:1997, que determina que se deve utilizar um riscador para determinar a inclinação do fio, e medir o comprimento medido em projeção paralela à face em que este se desenvolve, e o desnível entre o ponto de início de medição e o final- **Figura 5.3.** O valor para a inclinação é determinado pelo quociente entre a altura (BC na imagem) e o comprimento (AC na imagem).

A medição não tem um valor mínimo, mas deve ser efetuada num comprimento grande o suficiente para não haver influência de outros defeitos, como os nós, na medição final.

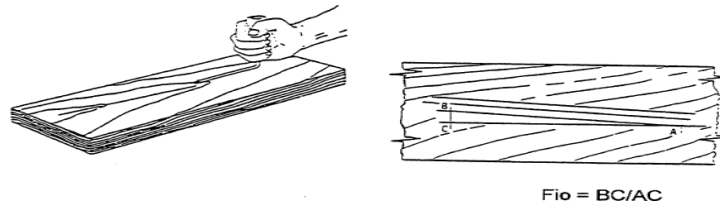


Figura 5.3- Método de medição da inclinação do fio (NP 4305:1995)

#### 5.2.4. Taxa de crescimento

Pela EN 1310:1997, a taxa de crescimento é medida nos dois topos da peça, sendo por isso necessário que estes estejam visíveis. Na perpendicular desde a medula até um comprimento máximo de 25 cm ou ao ponto mais extremo da face, conta-se o número de anéis de crescimento. Seguidamente divide-se o somatório dos comprimentos medidos nos dois topos, pelo número de anéis contabilizados nos dois topos também, como na equação. O valor encontrado será a largura média em milímetros dos anéis de crescimento da estrutura em causa.

$$\text{Taxa de Crescimento} = \frac{\sum \text{Comprimento dos topos (m)}}{\sum \text{Anéis anuais nos topos}} \quad (5.1)$$

Pela norma nacional NP 4305:1995 a metodologia é semelhante, exceto na não consideração do limite de 25cm no comprimento a medir no topo da peça, pois tem em conta a presença de medula e de lenho juvenil na secção- **Figura 5.4**. Quando não existe acesso aos topos, seja pela sua não acessibilidade, ou por existência de degradação, por exemplo, deve-se fazer a avaliação da taxa de crescimento nas faces laterais onde exista medula visível ou então fazer a extração de uma amostra de madeira do elemento.

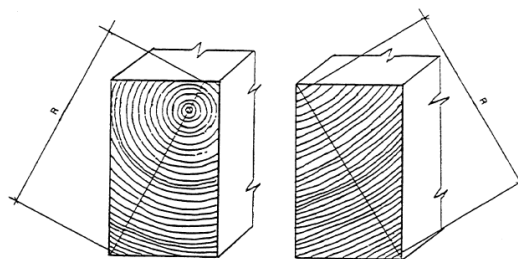


Figura 5.4- Medição da Taxa de crescimento (NP 4305:1995)

#### 5.2.5. Degradação biológica e secção residual

No **capítulo 3.3** foram já mencionados os principais agentes de degradação biológica, o seu desenvolvimento bem como os sinais que permitem detetar o seu ataque na madeira, sendo por

isso aqui referido de forma expedita, a forma de inspecionar a madeira e os critérios de decisão para a degradação biológica.

Na inspeção visual da madeira, numa primeira e simples abordagem, é prática comum o recurso a uma pequena lâmina que permita estudar a madeira degradada até se chegar à madeira intacta, avaliando não só a coesão superficial da madeira como também a perda de secção resultante e a presença de borne no elemento, delimitado a extensão máxima de alguns tipos de degradação (Cruz, 2004). O uso de um pequeno martelo permite aferir a presença de vazios, devidos à degradação biológica no interior da madeira, como galerias de insetos (Cruz, 2004).

De forma conservativa, mas mais segura a nível estrutural, Cruz (2004) defende que, para o caso dos vários tipos de podridão, se deve desprezar toda a secção afetada, pois a podridão provoca na madeira uma diminuição da massa volúmica, para além da elevada perda de resistência mecânica. Este critério não é consensual, pois Machado *et al.* (2009, a) assumem que os vários tipos de podridão resultam numa grande perda de secção, mas que ainda assim esta deve ser devidamente avaliada, e atribuída à secção a dimensão da secção transversal não afetada, que será na grande maioria das vezes reduzida, mas existente.

Cruz (2004) e Machado *et al.* (2009, a) defendem que para os carunchos, na maioria de vezes o ataque se encontra apenas na camada mais superficial da madeira, na zona periférica do borne, e que se pode considerar a perda de secção constante ao longo do elemento, sendo apenas necessário efetuar um estudo mais pormenorizado para elementos que pela sua posição ou especial nível de degradação o justifiquem.

Relativamente às térmitas subterrâneas, devido à não linearidade do ataque, é difícil de quantificar a extensão e desenvolvimento deste, sendo necessário recorrer a métodos auxiliares não destrutivos de diagnóstico (Cruz, 2004), que já se encontram explicitados no capítulo 4, sendo que autores como Machado *et al.* (2009, a) preferem não quantificar a secção, devido à comum gravidade e extensão do ataque.

Relativamente ao ataque por agentes biológicos é necessário determinar a atividade do ataque e estipular uma secção residual (Cruz, 2004; Cruz *et al.*, 2015). Esta secção é que irá permitir determinar a segurança estrutural dos elementos e se será ou não necessário proceder à sua substituição. Por ser difícil garantir que os ataques de origem biológica cessaram e que os tratamentos preservadores são totalmente eficazes, é que a determinação de uma secção residual no caso da degradação biológica segue parâmetros tão conservativos (Cruz, 2004; Cruz *et al.*, 2015).

Quanto ao envelhecimento natural da madeira, poucos são os autores que o indicam, pois sabe-se que o fator tempo numa estrutura de madeira bem dimensionada e conservada não introduz problemas de maior, nem tão pouco afeta significativamente as características resistentes da madeira. Machado *et al.* (2009, a) acrescenta ainda que as intervenções verificadas nas

estruturas são sempre por problemas de degradação física intensa, como a imposição excessiva de cargas, degradação biológica, ou problemas acidentais, como fogo ou cheias, não sendo verificadas situações devidas ao envelhecimento natural da madeira que justifiquem a tomada de medidas de intervenção.

#### **5.2.6. Secção crítica**

O conceito de secção crítica vem presente na norma italiana de classificação de madeira em serviço UNI 11119:2004, sendo igualmente proposto por Cruz *et al* (2015) para a avaliação da madeira em serviço. A secção crítica é definida como representativa de uma zona crítica, na qual se consideram concentrados todos os defeitos, degradação, danos e outras características existentes nessa zona e que tenham influência sobre a sua resistência mecânica (UNI 11119: 2004). A zona crítica tem uma dimensão na direção longitudinal do elemento nunca inferior a 150 mm, e é definida como a zona ou as zonas onde há os mais altos níveis de tensão, mais altos níveis de degradação ou a conjugação de ambos, sendo que no mesmo elemento podem existir várias zonas críticas. Dentro da zona crítica é então definida uma secção, sendo considerados concentrados nessa secção todos os defeitos intrínsecos da madeira no interior da zona crítica, o seu estado de degradação e consequente secção residual (Cruz *et al.*, 2015).

O facto de se avaliar estruturalmente a secção crítica, não implica que se negligencie a avaliação de todos os pormenores existentes no elemento. Assim, a avaliação da resistência estrutural da madeira às diversas solicitações, é realizada na secção mais gravosa do elemento para cada solicitação, tendo em conta todos os condicionalismos presentes, estando garantida a segurança do elemento.

#### **5.2.7. Apoios e Ligações**

A avaliação individual dos apoios das peças, e das ligações entre peças, deve ser incluída na avaliação visual da estrutura, pela necessidade de verificar a integridade da estrutura como um todo, para que os esforços sejam corretamente distribuídos. Na avaliação de estruturas antigas, este é um ponto crucial da avaliação visual, pois nas ligações e apoios podem-se encontrar soluções pouco comuns, que podem resultar de improviso, erros de conceção, modificações introduzidas posteriormente, entre outras situações que podem comprometer a segurança da estrutura, pelas fragilidades que introduzem nesta (Cruz *et al.*, 2015; Machado *et al.*, 2009, a).

Em estruturas antigas podem-se verificar essencialmente dois tipos de ligações: de entalhe simples, em que a ligação se verifica apenas entre os elementos de madeira, ou de entalhe com cavilhas metálicas ou de madeira, em que se reforça a ligação entre elementos com recurso a elementos externos, para que se consiga uma transmissão de esforços mais eficiente (Machado *et al.*, 2009, a). Quando se avaliam as ligações e os apoios, o técnico que irá proceder à avaliação deve estar atento a vários sinais que comprometem a eficácia destes, nomeadamente (Machado *et al.*, 2009, a; Cruz *et al.*, 2015): ataque biológico, intervenções humanas, indícios de fogo, deformações excessivas, corrosão de elementos metálicos, fendas, nós, folgas, entre outros.

Um dos problemas mais recorrentes nas ligações entre elementos são as folgas, resultantes de diversas situações, como a falta de rigor na execução das peças, problemas na montagem destas ou retração da madeira (Machado et al., 2009, a; Cruz *et al.*, 2008). Esta situação é especialmente gravosa pois implica a existência de espaços vazios entre elementos que deviam estar encostados, provocando assim um acréscimo de tensão nos pontos em que se verifica efetivamente contacto entre elementos, que pode não ser suportado (Machado et al., 2009, a; Cruz *et al.*, 2008). Esta diminuição de rigidez e resistência das ligações implica a não transmissão correta de esforços, pondo em causa, como já referido, o funcionamento como unidade requerido à estrutura (Cruz *et al.*, 2015).

### 5.3. Classes de qualidade e de resistência

Neste ponto, seguir-se-ão estudos de Machado *et al.* (2009, a), que, como referido acima, defendem que apenas é necessário avaliar os nós, a taxa de crescimento e a inclinação do fio para classificar a maioria das espécies de madeiras em serviço em Portugal. Esta abordagem, para além de muito mais simplificada e expedita, permite ter em conta as especificidades de uma estrutura de madeira em serviço, sem pôr em causa a segurança da estrutura. Em seguida, apresentam-se os critérios para a medição de defeitos de duas espécies folhosas e duas espécies resinosas das madeiras mais utilizadas em Portugal.

#### 5.3.1. Pinho Bravo

Para a avaliação do Pinho bravo (*Pinus pinaster*), Machado *et al.* (2009, a) utiliza a norma de classificação visual nacional, NP 4305:1995, estabelecendo assim as duas classes de qualidade já referidas acima- **Quadro 5.2.**

Características e Defeitos		Critérios de Medição		
Nós	KAR marginal	$\leq 1/5$	$\leq 1/2$	$\geq 1/2$
	KAR total	$\leq 1/5$	$\leq 1/2$	$\leq 1/3$
Inclinação do fio		$\leq 1/10$	$\leq 1/6$	
Taxa de crescimento		$\leq 6\text{mm}$	$\leq 10\text{mm}$	
Classes de Qualidade		<b>EE</b>	<b>E</b>	
		<b>C35</b>	<b>C18</b>	

**Quadro 5.2- Classificação do Pinho bravo (adaptado de NP 4305:1995)**

#### 5.3.2. Pitespaine

Para a classificação visual de madeira em serviço de Pitespaine (*Pinus palustris*, Miller), Machado *et al.* (2009, a), defende a utilização da norma BS 4978:2007 (Britânica), que sendo uma resinosa, também só é avaliada tendo em conta os nós, inclinação do fio e taxa de crescimento. Esta norma segue para a avaliação dos nós a mesma metodologia da norma nacional NP 4305:1995, e estabelece duas classes de qualidade: Classe SS, correspondente à C24, e classe GS, correspondente à C18- **Quadro 5.3.**

Características e Defeitos		Critérios de Medição			
Nós	KAR marginal	≤1/2	>1/2	≤1/2	>1/2
	KAR total	≤1/3	≤1/5	≤1/2	≤1/3
Inclinação do fio		≤1/10		≤1/6	
Taxa de crescimento		≤6mm		≤10mm	
Classe de Qualidade		SS		GS	
		C24		C18	

Quadro 5.3- Classes de Qualidade do Pitespaine (adaptado de BS 4978:2007)

### 5.3.3. Carvalho

Para a classificação visual da espécie Carvalho (*Quercus spp.*), Machado *et al.* (2009, a) defende a classificação com recurso à norma francesa NF B52-001:2007. Esta norma já faz a diferenciação entre a classificação de nós sãos e nós podres, bem como a inclinação do fio que é avaliada de forma local e geral. Apesar de não estar figurada na NP EN 1912:2013, esta norma permite classificar a madeira de Carvalho em duas classes: classe 2 (D24) ou classe 3 (D18) -

### Quadro 5.4.

Características e Defeitos		Critérios de medição	
Nós	Sãos	Ø<30% de L	Ø<45% de L
	Podres	Ø≤5% de L	Ø<15% de L
Inclinação do fio	Local	≤1/10	≤1/5
	Geral	≤1/20	≤1/12,5
Taxa de crescimento		>3mm	<1,5mm e ≤3mm
Classe de Qualidade		2	3
		D24	D18

Sendo L a largura da peça

Quadro 5.4- Classes de Qualidade do Carvalho (adaptado de Machado *et al.*, (2009, a)

### 5.3.4. Castanho

Quanto à classificação da madeira de Castanho, Machado *et al.* (2009, a), defende a utilização da norma de classificação visual italiana UNI 11035-1:2003, já referida anteriormente neste trabalho, e que tanto permite classificar madeiras de espécie folhosa, como de espécie resinosa, pois baseia-se nas espécies de madeira mais utilizadas na construção em Itália. Para as folhosas, a norma substitui a avaliação da taxa de crescimento pela massa volúmica da madeira e estabelece para todas as folhosas uma classe única de qualidade S, caracterizada no **Quadro 5.5**, que não se enquadra em nenhuma das classes de resistência da EN 338:2009, sendo referidos na UNI 11035-2:2003 valores característicos para os vários tipos de comportamento que permitem caracterizar mecanicamente a madeira de folhosas, tendo em conta a espécie a que pertencem, como verificável no **Quadro 5.6**.

Características e Defeitos			Critérios de Medição
Nós	$\varnothing \leq 5\text{mm}$ não é considerado	Isolados	Medir $\varnothing$ maior (D) e $\varnothing$ menor (d) do pior nó $d/L \leq 1/2$ ; $d \leq 70\text{mm}$ ; $D \leq 150\text{mm}$
		Agrupados	Medir e somar (t) o $\varnothing$ menor dos nós num comprimento de 150mm $t/L \leq 1/2$ ; $t \leq 70\text{mm}$
Massa Volúmica $\rho$			$\rho > 395 \text{ kg/m}^3$
Inclinação do fio			$\leq 1:6$
<b>Classe de Qualidade</b>			<b>S</b>
Sendo L a largura da peça			

Quadro 5.5- Classes de Qualidade do Castanho (adaptado de UNI 11035-2:2003)

Propriedades mecânicas e densidade	Espécies de folhosas e classe visual	Castanho	Carvalho	Choupo	outras folhosas
		Classe			
		S	S	S	S
Resistência à flexão (5%) [MPa]	$f_{m,k}$	28	42	26	27
Resistência à tensão // ao fio (5%) [MPa]	$f_{t,0,k}$	17	25	16	16
Resistência à tensão $\perp$ ao fio (5%) [MPa]	$f_{t,90,k}$	0.5	0.8	0.4	0.5
Resistência à compressão // ao fio (5%) [MPa]	$f_{c,0,k}$	22	27	22	22
Resistência à compressão $\perp$ ao fio (5%) [MPa]	$f_{c,90,k}$	3.8	5.7	3.2	3.9
Resistência ao corte (5%) [MPa]	$f_{v,k}$	2.0	4.0	2.7	2.0
Módulo de elasticidade // ao fio (médio) [MPa]	$E_{0,mean}$	11000	12000	8000	11500
Módulo de elasticidade // ao fio (5%) [MPa]	$E_{0,05}$	8000	10100	6700	8400
Módulo de elasticidade $\perp$ ao fio (médio) [MPa]	$E_{90,mean}$	730	800	530	770
Módulo de distorção (médio) [MPa]	$G_{mean}$	950	750	500	720
Massa volúmica (5%) [ $\text{kg/m}^3$ ]	$\rho_k$	465	760	420	515
Massa volúmica (média) [ $\text{kg/m}^3$ ]	$\rho_{mean}$	550	825	460	560

Quadro 5.6- Caracterização mecânica das folhosas segundo a UNI 11035-2:2003 (Branco & Sousa, 2014)



## 6. Apresentação do caso de estudo e metodologia aplicada

Este capítulo destina-se à identificação do caso de estudo, a Ermida da Ascensão de Cristo em Lisboa. Irá proceder-se à inspeção, avaliação e classificação de elementos de madeira em serviço na Ermida. Nos pontos seguintes serão abordados os primeiros passos necessários na inspeção da estrutura, que passam por um estudo do edifício, a sua história, localização, métodos e materiais utilizados bem como a geometria dos elementos a estudar.

### 6.1. Descrição do edifício

Serão clarificadas as informações relativas à localização, história e caracterização estrutural e arquitetónica do edifício.

#### 6.1.1. Localização

A Ermida da Ascensão de Cristo está localizada em Lisboa, na freguesia, designada da Misericórdia desde 2012, pertencendo anteriormente à freguesia de Santa Catarina (devido à alteração no mapa de freguesias imposto pelo decreto-lei 160/2012 de 8 de Novembro). Está incluída na Zona especial de proteção do Bairro Alto e imóveis classificados na área envolvente, e na Zona especial de proteção do convento dos Paulistas, da qual também faz parte a Igreja de Santa Catarina situada uns metros mais à frente. A ermida é sita na Calçada do Combro nº74-

**Figura 6.1.**



**Figura 6.1- Localização da Ermida (retirado do Google Earth)**

De pequenas dimensões, com uma fachada com apenas 7,32m de comprimento, fica adjacente do lado direito, a um silo automóvel pertencente à EMEL e do lado esquerdo a um edifício de habitação com comércio no piso inferior.

#### 6.1.2. História

A Ermida foi fundada em 1500, mandada construir por António Simões de Pina, com o objetivo de dar assistência aos moradores locais e transeuntes que se deslocassem para o término da cidade. Mais tarde, foi tornada sede da paróquia das Mercês, no dia 1 de Dezembro de 1632,

instituída pelo desembargador do paço, Paulo de Carvalho, situação que se manteve até 22 de Maio de 1757 (Arquivo Câmara municipal de Lisboa)

A capela sofre várias alterações entre o século XVII e XVIII, sendo a 9 de Janeiro de 1705 que António Martins Calheiros, morador na Cordoaria Nova, é contratado como Entalhador para a obra a realizar no Retábulo-Mor, que já não existe na capela.

Nos registos do sistema de Informação para o património arquitetónico (SIPA- IPA 00022941), a época construtiva da Ermida data do século XVIII, pelo que se conclui a sua ruína no terramoto de 1755, e posterior reconstrução. João de Lencastre, casado com a filha mais velha e herdeira de Luís António de Basto Barém, é o administrador do edifício nesta época.

Hoje em dia, devido ao mau estado de conservação da Ermida- **Figura 6.2**, o edifício encontra-se fechado, só servindo muito ocasionalmente para eventos pontuais, a pedido de moradores, como velórios. Como está inserido na Zona de proteção do convento dos Paulistas, está sob a tutela da Igreja de Santa Catarina, ou Igreja dos Paulistas, como também é conhecida. No século XIV a Ordem Eremita de São Paulo recolheu à sede desta paróquia, motivo pelo qual ainda hoje é conhecida como Ermida.



**Figura 6.2-** Aspeto da fachada principal da Ermida

### **6.1.3. Caracterização estrutural e arquitetónica**

A Ermida da Ascensão de Cristo tem a sua construção datada do século XVIII, como já referido acima (SIPA- IPA 00022941). Assim sendo, tem uma construção robusta com a estrutura resistente dos pisos em madeira de espécie folhosa e paredes em alvenaria de pedra, com aproximadamente 0,40m de espessura, com rebocos de cal como revestimento.

Com a introdução da talha na zona da Ermida, os altares foram refeitos, com estrutura em madeira ainda bem preservada- **Figura 6.3**, bem como os azulejos- **Figura 6.4**- que se encontram a toda a volta da nave (Simões, 1945). O painel de azulejo tem 22 peças de altura sendo que as duas filas inferiores são de marmoreado roxo, e as restantes no típico azul. Na

moldura dos painéis encontram-se várias figuras bem desenvolvidas e definidas de anjos enquanto as cenas centrais retratam Natividade e S. Tomé tocando as suas chagas, enquanto as mais pequenas retratam a Ressurreição e a Anunciação (Simões, 1945).

No piso a avaliar, como serviu de habitação até aos anos 90, já apresenta algumas modificações construtivas, tal como a utilização de materiais mais recentes como o cimento, ou vigas de ferro.



**Figura 6.3- Altares laterais em Madeira**



**Figura 6.4- Painel em azulejo na Ermida**

## **6.2. Identificação e caracterização da zona de estudo**

O desenvolvimento deste trabalho assenta sobre a inspeção, avaliação e caracterização da estrutura do teto do último piso da Ermida. O último piso, que teria servido inicialmente para apoio a atividades da paróquia, era ultimamente de uso habitacional, sendo que a estrutura a inspecionar é o teto da sala de estar- **Figura 6.5**. A escolha recaiu sobre esta zona da Ermida pois encontra-se totalmente visível e acessível, com exceção para a grande maioria dos topos das peças, por motivos óbvios de apoio das peças nas alvenarias. O teto já não se encontrava no local quando se realizou este trabalho, permitindo o acesso total à estrutura, embora condicionado pelo pé direito elevado, o qual obrigou a recorrer a meios de elevação. A divisão em estudo tem forma aproximadamente quadrangular, com a menor dimensão do lado interno da casa na direção paralela à Calçada do Combro com 5,60m e a maior dimensão de 6,02m aproximadamente perpendicular à primeira. O pé direito é no seu ponto mais alto de 3,14m, sendo que a estrutura apresenta deformação a meio vão da viga principal, reduzindo o pé direito para 3,09m. Esta situação é justificável com os efeitos de fluência previsíveis na madeira ao longo do tempo. O esquema da divisão encontra-se nas peças desenhadas.

Assume-se que a estrutura a avaliar só iria servir para apoio ao teto, que se supõe que tenha sido feito em estafe ou fasquiado pois na parte superior não tem nenhum revestimento, para além da viga central da estrutura ser constituída por duas vigas sobrepostas, sendo que a superior fica mais alta que o resto da estrutura do teto. Nas laterais da estrutura a avaliar, há algum espaço para circulação, que dá acesso a uma pequena arrecadação bem como à torre do sino da Ermida. O telhado está logo por cima, com a estrutura em madeira que o suporta visível, bem como as telhas cerâmicas, ou a falta destas.



Figura 6.5- Zona a inspecionar

A divisão é simples, dando acesso à cozinha, e à torre da Ermida por escadas, apenas com um vão em caixilharia de madeira bastante degradada, não vedando corretamente, deixando entrar água e vento. O telhado encontra-se danificado, e a torre do sino aberta para o interior da antiga habitação, havendo espaço suficiente para a nidificação e permanência de pombos.

Sendo uma estrutura de apoio ao teto, além do peso próprio da estrutura e do revestimento do teto, considera-se como sobrecarga o peso de um candeeiro comum no centro do teto.

### 6.2.1. Caracterização geométrica

Foram identificadas duas vigas centrais sobrepostas e pregadas uma à outra, funcionando como uma só, simplesmente apoiadas no pavimento do piso de cima de um lado e encastradas na parede de alvenaria da fachada da Ermida. Existem ainda 13 vigas de cada lado da viga central, simplesmente apoiadas e pregadas nesta e na outra extremidade apoiadas nas paredes, paralelas à viga central. Estas vigas encaixam na viga central através do sistema de “orelha derrabada” – **Figura 6.6** que consiste num entalhe na viga principal e na secundária de modo a que encaixem uma na outra (Costa, 1971). As dimensões das vigas variam na largura entre 0,062 m e 0,095 m e na altura entre 0,096 m e 0,162 m- **Quadros 6.1, 6.2 e 6.3**. Os apoios têm dimensões de entrega a variar entre 0,16 m e 0,41 m, com as situações de menor entrega a registarem-se a meio da estrutura, onde se desenvolve a estrutura auxiliar de suporte do telhado, sob a forma de tirante, o que leva a crer que aquando a sua execução se alteraram as condições de apoio da estrutura do teto.

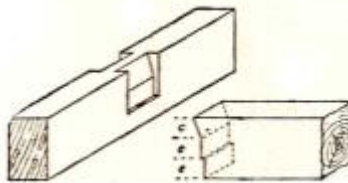


Figura 6.6- Sistema de "Orelha derrabada" (adaptado de Costa, 1971)

Para evitar problemas de bambeamento da estrutura, que resulta do encurvamento da estrutura no plano perpendicular ao do carregamento, existem ainda duas sequências de tarugos nas vigas perpendiculares à central, uma de cada lado da viga central, e a meia distância entre a parede e esta última. Os tarugos foram serrados para que se ajustassem sem folgas às vigas, garantindo o seu funcionamento à compressão, e foram depois pregados a estas, encontrando-se na sua maioria sãos e a cumprir as suas funções corretamente. Existem 24 tarugos, com dimensões médias de 0,07 m de base, 0,14 m de altura e 0,42 m de comprimento.

Pela observação da madeira concluiu-se que esta é de Pinho bravo (*Pinus pinaster*), e pelo corte definido e constante, a estrutura foi datada de forma grosseira como sendo do início do século XX, o que corresponde aos dados fornecidos.

Vigas Esquerdas					
Viga	h(m)	b(m)	c(m)	Área secção (m <sup>2</sup> )	Dim. Apoio(m)
1	0,113	0,095	2,915	0,011	0,410
2	0,144	0,073	2,885	0,011	0,410
3	0,162	0,087	2,741	0,014	0,410
4	0,142	0,071	3,123	0,010	0,410
5	0,139	0,081	3,135	0,011	0,260
6	0,129	0,082	3,152	0,011	0,260
7	0,136	0,092	3,042	0,013	0,160
8	0,143	0,072	3,062	0,010	0,185
9	0,136	0,076	3,113	0,010	0,190
10	0,138	0,072	3,216	0,010	0,310
11	0,139	0,071	3,184	0,010	0,260
12	0,126	0,069	3,132	0,009	0,270
13	0,154	0,082	3,142	0,013	0,260
<b>Média</b>	<b>0,139</b>	<b>0,079</b>	<b>3,065</b>	<b>0,011</b>	<b>0,292</b>

Quadro 6.1- Caracterização geométrica das vigas esquerdas

Vigas Centrais					
Viga	h(m)	b(m)	c(m)	Área secção (m <sup>2</sup> )	Apoio Casa (m)
Inferior	0,135	0,065	6,602	0,009	0,452
Superior	0,140	0,066	6,150	0,009	0,000
Composta	0,275	0,066	6,602	0,018	

Quadro 6.2- Caracterização geométrica das vigas centrais

Vigas Direitas					
Viga	h(m)	b(m)	c(m)	Área secção (m <sup>2</sup> )	Dim. Apoio(m)
1	0,105	0,083	2,635	0,009	0,350
2	0,144	0,065	2,677	0,009	0,370
3	0,157	0,065	2,616	0,010	0,280
4	0,136	0,068	2,673	0,009	0,180
5	0,145	0,076	2,672	0,011	0,320
6	0,145	0,069	2,669	0,010	0,250
7	0,144	0,062	2,720	0,009	0,200
8	0,144	0,082	2,695	0,012	0,230
9	0,153	0,071	2,677	0,011	0,160
10	0,142	0,075	2,714	0,011	0,180
11	0,096	0,073	2,712	0,007	0,170
12	0,143	0,071	2,823	0,010	0,260
13	0,141	0,065	3,112	0,009	0,300
Média	<b>0,138</b>	<b>0,071</b>	<b>2,723</b>	<b>0,010</b>	<b>0,250</b>

Quadro 6.3- Caracterização geométrica das vigas direitas

### 6.3. Inspeção e diagnóstico

Tal como já referido no capítulo 4, antes de se inspecionar a estrutura com recurso a um dos vários métodos, é necessário proceder-se a um estudo preliminar do edifício, que tenha em conta todas as condicionantes para a estrutura a avaliar.

No presente caso, fez-se o estudo da localização e história do edifício, bem como o levantamento das obras a que a Ermida foi sujeita, e no caso em estudo, o acrescento que constituiu a área de habitação onde se situa o teto. Sendo um edifício histórico e de utilização religiosa, possui valor patrimonial indiscutível, o que torna o seu estudo e consequente avaliação muito importante, pois dever-se-á manter ao máximo o aspeto inicial da Ermida, seguindo o princípio da Intervenção Mínima, já referido neste trabalho, defendido por autores como Cóias (2011).

Após uma primeira análise, procedeu-se à inspeção visual combinada com a utilização de métodos tradicionais e não tradicionais que permitiram aferir o estado e segurança da estrutura em estudo. Os métodos não tradicionais foram utilizados apenas nas áreas predefinidas, por serem zonas com grande degradação instalada, e onde, a inspeção visual não conseguiu fornecer informação suficiente sobre a capacidade mecânica da secção, tendo sido necessária mais

informação. Todos os dados obtidos foram analisados e tratados, para se poder caracterizar a madeira mecanicamente, e seguidamente no **capítulo 8** proceder-se ao cálculo estrutural, tendo em conta a informação sobre as secções obtidas neste capítulo.

Aproveitando os dados fornecidos pelos ensaios não tradicionais, foram seguidos estudos de Henriques (2011), que permitem, através das correlações obtidas, estabelecer valores para a massa volúmica dos elementos. Dado o carácter minimamente intrusivo que este trabalho pretende seguir, a utilização das correlações obtidas por este autor, permitem determinar o parâmetro massa volúmica de forma analítica, quando tradicionalmente este parâmetro só é conseguido com recurso a ensaios laboratoriais, que implicam a extração de amostras da estrutura original.

### **6.3.1. Métodos Tradicionais**

#### **6.3.1.1. Inspeção visual**

Todos os elementos foram inspecionados visualmente, com recurso a lâmina metálica, fita métrica, paquímetro, pequeno martelo e uma escova para limpeza. O registo de imagens fotográficas foi também importante, não só para caracterizar as peças e as ações realizadas, como também para facilitar o tratamento de dados e medições. Foram seguidas as especificações incluídas na norma NP 4305:1995, para medição de defeitos e avaliação das peças.

Foi estabelecido previamente um plano de inspeção, sendo que numa primeira fase foram efetuadas medições da divisão, a caracterização da divisão, dos materiais e ligações e por fim identificados os principais problemas e patologias. Seguidamente foram medidos e marcados os elementos estruturais, não estruturais e zonas específicas como os apoios, bem como efetuadas as medições ao teor em água. Numa segunda fase foram identificados os vestígios biológicos existentes, neste caso a presença de serrim, efetuada uma pequena limpeza e de seguida foram medidos os nós, a inclinação do fio, e a taxa de crescimento, quando possível. Numa terceira fase, foi estudada a degradação biológica, a secção residual e feita a marcação dos pontos a ensaiar. Por fim, foram realizados os ensaios com o *Pilodyn*® e o Resistógrafo.

#### **6.3.1.2. Humidímetro**

Relativamente às medições do teor em água da madeira, foram ensaiados com recurso a um humidímetro de contacto, GE Protimeter Timbermaster®- **Figura 6.7**. O aparelho utilizado foi cedido pelo Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Superior de engenharia de Lisboa. Cada elemento foi ensaiado três vezes, do lado esquerdo, ao meio e do lado direito, e posteriormente foi feita a média das medições.



Figura 6.7- Humidímetro de contacto

### 6.3.2. Métodos não tradicionais

#### 6.3.2.1. Resistógrafo

O uso do Resistógrafo foi previamente estabelecido, tendo em conta as zonas de especial degradação em que era necessário entender como se desenvolvia a resistência da peça ao longo da sua secção, neste caso à perfuração controlada. Os locais de ensaio foram escolhidos tendo em conta os locais onde se procedeu ao uso do *Pilodyn*®, e onde se registou maior degradação. Tal como o *Pilodyn*®, teve como especial condicionante o seu manuseamento, pois é um aparelho de dimensões consideráveis, que se torna difícil de manter na mesma posição durante muito tempo. O aparelho foi utilizado na face inferior das peças, para que a broca intersectasse a maior dimensão da peça e também porque o espaçamento entre vigas não permite o seu uso na horizontal.

O modelo do Resistógrafo utilizado foi o IML Resi PD 500- **Figura 6.8**, cedido pelo Laboratório de Materiais de Construção do Instituto superior de Engenharia de Lisboa. Sendo um modelo recente, permite a visualização direta do perfil e o armazenamento de dados.



Figura 6.8- Resistógrafo IML Resi PD 500

Outro dos objetivos deste ensaio era avaliar o estado interior das peças, de forma a poder verificar a profundidade da degradação, e no caso específico, a distribuição de galerias devidas à

presença do caruncho grande, permitindo comparar com os resultados obtidos com o *Pilodyn*®. Assim, foi possível complementar os resultados obtidos pela classificação visual, e no caso das vigas que registam degradação biológica e consequente perda de secção, avaliar qual a dimensão da secção residual. Deste modo, o cálculo estrutural foi realizado tendo em conta os resultados obtidos no ensaio.

#### **6.3.2.2. *Pilodyn*®**

Tal como já referido anteriormente, o ensaio com *Pilodyn*® deve ser utilizado nas imediações da realização do ensaio com o Resistógrafo, para que seja possível complementar resultados. Nas vigas sãs, foram realizados dez ensaios na extensão total da viga, sendo que nas vigas degradadas foram realizados ensaios na proximidade das zonas de degradação mais evidente- **Figura 6.9**, com a execução de dez ensaios na zona degradada e cinco ensaios nas zonas que não apresentavam degradação para comparação de resultados. Foi disponibilizado pelo Laboratório de Materiais de Construção do Instituto superior de engenharia de Lisboa um aparelho *Pilodyn*® modelo 6J- **Figura 6.10**, e possui uma escala de 40mm- **Figura 6.11**. O ensaio foi realizado na face inferior das vigas, por motivos práticos e porque o ensaio com o Resistógrafo também foi realizado nas mesmas zonas.



**Figura 6.9- Utilização do *Pilodyn*®**

Henriques (2011) estudou a correlação existente entre a profundidade de penetração com o aparelho em madeira sã, em mm, e a massa volúmica dos elementos, tendo para tal ensaiado em laboratório 65 provetes de madeira antiga e recente de resinosas (Pinho bravo e Casquinha). Para cada provete foram efetuados três ensaios, sendo o valor de profundidade de penetração com *Pilodyn*® apresentado, resultante da sua média. A correlação seguida encontra-se no gráfico da **Figura 6.12**.

Neste trabalho foi aplicada essa correlação, permitindo aferir a massa volúmica da madeira em estudo, sendo utilizados no cálculo apenas os resultados obtidos nos ensaios realizados em madeira sã.



Figura 6.10- *Pilodyn*®



Figura 6.11-Escala do aparelho

O valor do fator de determinação obtido,  $R^2=0,80$ , implica a boa adequabilidade da regressão. Henriques (2011) refere ainda que os valores foram obtidos a partir de provetes de madeira limpos de defeitos, situação que deve ser tida em conta visto os condicionantes da madeira em serviço no caso de estudo.

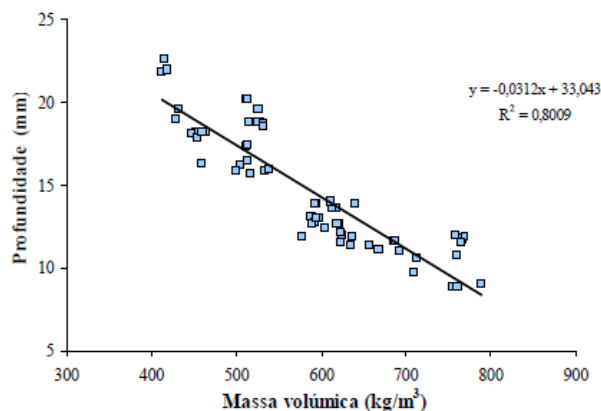


Figura 6.12- Profundidade de *Pilodyn*® Vs Massa volúmica (Henriques, 2011)

#### 6.4. Apresentação de resultados

Os elementos foram identificados como esquerdos e direitos da viga central, com a contabilização a começar nas vigas da fachada (Exemplo: E1;D1... E13;D13), e a viga central composta dividida em inferior e superior (CI e CS).

##### 6.4.1. Classe de Risco

A classe de risco desta zona da Ermida foi identificada com recurso à norma EN 335-1,2:2013, já abordada em 3.4.1, e caracterizado o ambiente como sendo de classe 2: ambiente interior protegido, mas com risco de humificação, devido aos problemas identificados na cobertura e vãos de caixilharias.

##### 6.4.2. Teor em água

Seguidamente apresentam-se os resultados obtidos pelo ensaio com o humidímetro de contacto na totalidade das vigas- **Quadros 6.4 e 6.5**. A madeira apresenta-se seca em toda a sua extensão, com valores médios nos dois conjuntos de vigas (esquerdas e direitas) a rondar os 12%.

Teor em água (%)- Vigas Esquerdas					Teor em água (%)- Vigas Direitas				
	Esq.	Meio	Dir.	Média		Esq.	Meio	Dir.	Média
1	10,9	11,9	11,9	11,6	1	11,6	11,9	13,1	12,2
2	12,5	13,1	12,4	12,7	2	11,7	11,5	13,8	12,3
3	12,9	12,4	12,9	12,7	3	11,8	12,0	11,9	11,9
4	14,1	12,5	12,7	13,1	4	12,3	12,0	12,9	12,4
5	12,8	12,8	12,9	12,8	5	11,7	11,9	12,8	12,1
6	13,9	12,6	12,4	13,0	6	12,4	12,5	12,3	12,4
7	12,2	12,2	12,2	12,2	7	12,6	10,2	12,8	11,9
8	11,4	12,2	12,1	11,9	8	12,0	12,0	12,6	12,2
9	12,5	12,4	12,1	12,3	9	12,3	11,7	11,0	11,7
10	12,3	12,5	12,8	12,5	10	12,4	11,8	12,8	12,3
11	13,7	12,2	13,0	13,0	11	12,1	12,3	13,4	12,6
12	12,1	13,0	12,9	12,7	12	12,0	12,2	12,2	12,1
13	13,4	13,3	12,5	13,1	13	13,0	13,0	14,0	13,3
Média	12,7	12,5	12,5	12,6	Média	12,1	11,9	12,7	12,3

Quadro 6.4- Teor em água com o Humidimetro de contacto

Teor em água (%)- <u>Viga Central</u> - Humidimetro de Contacto				
	Esq.	Meio	Dir.	Média
	13,4	12,7	13,0	13,0

Quadro 6.5-Teor em água da viga central

### 6.4.3.Avaliação individual dos elementos

Verificou-se nesta estrutura o desenvolvimento de degradação biológica por Caruncho grande (*Hylotrupes bajulus*) e Caruncho pequeno (*Anobium punctatum*). Este foi o único tipo de degradação biológica encontrada, pelo que se procedeu à avaliação da secção residual dos elementos afetados. Foram identificadas sete vigas com degradação biológica extensa por caruncho grande, com perda significativa de secção. Salienta-se o facto de que, todas as vigas que apresentam a maior degradação, se encontrarem na vizinhança umas das outras, o que indicia que o principal foco da infestação se manifestou naquele lugar. No entanto, consideraram-se duas vigas sãs para servir de termo de comparação com as restantes, que também se encontram próximas das vigas mais degradadas. Foram encontrados vestígios de degradação biológica em quase todas as vigas, embora em menor quantidade e com consequências muito menores, sem perda de secção, sendo registado maioritariamente o ataque por caruncho pequeno. Não se detetou sinais de atividade biológica atual.

Importa referir primeiramente que foram realizados ensaios com recurso ao *Pilodyn*®, na extensão de cada uma das vigas. Nas vigas sãs foi assim decidido, para avaliar a profundidade de medição com o aparelho e estimar a massa volúmica, com recurso à correlação já definida em 6.3.2.2. Nas vigas afetadas, devido às elevadas extensões de degradação, foi necessário estabelecer mais do que uma zona de ensaio, dividindo as vigas pela extensão das zonas afetadas.

Nos pontos seguintes serão mencionados os resultados das técnicas de diagnóstico e ensaio aplicadas nas vigas que, por motivos vários, apresentavam particularidades que as diferenciavam das restantes. É importante ainda acrescentar que as restantes vigas não mencionadas neste capítulo se encontram sãs, sem degradação biológica detetável, ou pequenas áreas de degradação por caruncho pequeno. Todos os dados individuais de cada um dos elementos encontram-se nas respetivas fichas de inspeção no **anexo 7.D.1**

- Viga 3 Direita

A viga 3 direita é uma viga sã que foi utilizada em conjunto com a viga 8 esquerda como termo de comparação com as restantes. Tal como a 8 esquerda, apresenta uma serragem linear, dimensões e aspeto constantes, sem defeitos como fendas, empenos ou descaio.

No ensaio com o *Pilodyn*®, obteve-se um valor máximo de perfuração com a agulha de 22mm, com um valor médio de  $18 \pm 2,5$  mm. Relativamente às medições realizadas com o humidímetro de contacto, obteve-se um teor em água médio de 12,73%

Quanto ao ensaio realizado com o Resistógrafo- **Figura 6.13**, foram efetuados ensaios em dois pontos distintos. Obteve-se um perfil regular, com uma resistência superior à verificada para outras vigas, sem vestígios de degradação biológica extensa, colocando-se apenas a hipótese de uma degradação superficial ligeira nas faces, nos primeiros 10 mm de profundidade de cada uma.

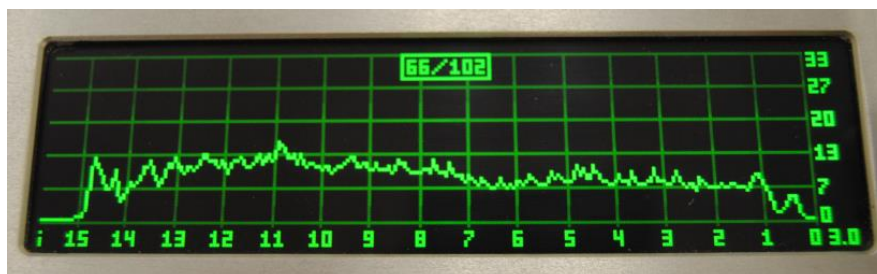


Figura 6.13- Perfil resistográfico da viga 3 esquerda

- Viga 4Esquerda

Esta viga encontra-se degradada em praticamente toda a sua secção- **Figura 6.14**, com especial desenvolvimento na zona do apoio na alvenaria e na ligação aos tarugos, sendo que a zona com degradação biológica não visível se encontra junto do apoio na viga central.



Figura 6.14- Degradação biológica na viga 4direita

As secções degradadas encontram-se completamente visíveis, devido não só à extensão do ataque como também a estudos efetuados anteriormente na Ermida. Foi encontrado serrim solto em grandes quantidades na viga e no chão da divisão. A degradação biológica resultou numa perda de secção muito significativa como visível no **Quadro 6.6**:

Viga 4E	Inicial	Atual	Degradada	Secção Degradada (%)
b (m)	0,071	0,058	0,013	27,514
h(m)	0,142	0,126	0,016	
Área (m <sup>2</sup> )	0,010	0,007	0,003	

Quadro 6.6- Perda de secção da viga 4E

Esta perda de secção foi resultado de ataque biológico por caruncho grande, que tal como referido no **capítulo 3**, pode provocar perdas de secções que poderão comprometer a segurança da estrutura. Tal como se encontra no **Quadro 6.6**, a viga teve uma perda de secção na ordem de 27,5%, fato que terá de ser tido em conta quando for verificada a segurança estrutural no **capítulo 8**.

Devido à extensão da degradação foram efetuados dez ensaios com recurso ao *Pilodyn*® na extensão da área degradada, e cinco ensaios na zona considerada sã, apenas para se aferir sobre a diferença de profundidades resultantes da degradação. Esta situação é verificada, pois na zona degradada a profundidade média obtida com o *Pilodyn*® é de  $21,4 \pm 2,0$  mm, com um valor máximo de 24 mm, sendo que na zona sã a profundidade média é de  $17 \pm 0,9$  mm, com um valor máximo de 18 mm.

Relativamente ao ensaio com o Resistógrafo, foram efetuados três ensaios, dois na zona degradada junto ao tarugo, e um na zona considerada sã. Pela análise do perfil extraído da zona degradada – **Figura 6.15**, observa-se um aumento de resistência à perfuração no primeiro centímetro de ensaio, que poderá dever-se a restos de cal ou gesso presentes na estrutura, e que possam ter penetrado na madeira. Nos últimos 20 mm da peça, verifica-se a presença de galerias na viga, não determinada pela inspeção visual, resultantes da degradação por caruncho grande. A restante extensão do gráfico é linear, semelhante ao obtido no perfil da zona sã.

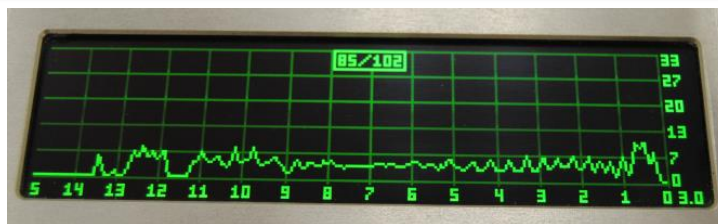


Figura 6.15- Perfil resistográfico da zona degradada da viga 4E

No perfil da zona sã da viga- **Figura 6.16**, verifica-se uma linearidade ao longo de todo o gráfico, com uma fácil identificação dos anéis de crescimento, com exceção nos primeiros e últimos 10mm, em que se verifica a presença de degradação, que poderá dever-se a caruncho pequeno.



Figura 6.16- Perfil resistográfico da zona sã da viga 4E

Esta viga apresenta o maior valor em percentagem de teor em água para o ensaio com o humidímetro de contacto, do conjunto de vigas esquerdas, com um valor de 13,10%.

- Viga 4Direita

Esta viga possui degradação biológica por caruncho grande, essencialmente na parte superior da peça. Apresenta um apoio bastante condicionado, em que se verifica uma deslocação significativa na ligação à viga central- **Figura 6.17**. Esta situação pode dever-se ao ataque por agentes biológicos, que reduziram a secção, danificando o apoio por orelha derrabada já referido em **6.2.1**.

Apenas se efetuaram medições relativas à caracterização geométrica da peça, como a altura e largura da secção, comprimento do elemento, e valores de teor em água não tendo sido avaliadas as anomalias existentes na peça, bem como os seus defeitos, nem tão pouco realizados ensaios. Esta decisão foi tomada com base na segurança dos intervenientes, pois a viga não oferecia as condições mínimas de rigidez e estabilidade requeridas. Um estudo mais pormenorizado da viga teria de ser realizado com recurso a escoramento desta, para garantir a sua imobilização.



**Figura 6.17- Degradação e alteração das condições do apoio**

Apesar de não ter sido avaliada em conformidade com as restantes vigas, esta levanta questões pertinentes relativamente às soluções a adotar no caso de a ermida ser reabilitada. Para além da classe de qualidade e resistência a atribuir à viga, seria também necessário avaliar a extensão da degradação biológica na viga, e se a secção residual seria suficiente para as solitações a que estaria sujeita. Visto que a situação mais gravosa se verifica no apoio, ter-se-ia que avaliar as soluções a serem postas em prática, nomeadamente a execução de um reforço no apoio, ou uma emenda na peça, retirando a parte afetada da viga. Esta análise teria de ser feita tendo em conta a segurança da estrutura e utilizadores, bem como a viabilidade económica que esta solução apresenta, havendo a opção de substituição completa do elemento.

- Viga 6 Esquerda

A viga 6 Esquerda apresenta degradação biológica provocada com caruncho grande registando uma elevada perda de secção. A degradação encontra-se totalmente exposta, pelos motivos já referidos para a viga 4E.

A degradação apresenta-se desenvolvida em toda a extensão da viga, apenas não se verificando de forma visível perto da ligação à viga central. Foram realizados quinze ensaios com o *Pilodyn*®, realizados na extensão da viga, concluindo-se que o nível de degradação é constante em toda a viga. Obteve-se um valor médio de profundidade de  $35,9 \pm 4,2$  mm, com vários pontos de ensaio a ultrapassarem a escala do aparelho. Este fato é representativo da extensão e gravidade da degradação, pois é a viga que obteve a maior penetração pela agulha do aparelho, o que demonstra a profundidade dos danos.

Relativamente ao ensaio com o Resistógrafo, foram realizados sete ensaios válidos, sendo possível averiguar a secção residual, entendendo-se assim até que ponto esta secção era constituída por madeira sã, ou por madeira degradada mas ainda totalmente agregada. Em cinco dos ensaios não foi possível considerar qualquer espessura de madeira sã, sendo que nos restantes a madeira sã não tinha uma extensão significativa de forma a poder ser considerada –

**Figura 6.18.**

Assim conclui-se que o estado de coesão é apenas suficiente para manter a madeira na posição atual. Este resultado resultou na não conformidade da peça para avaliação estrutural, pois os resultados obtidos pela inspeção visual não eram reais, com a secção residual efetiva a não existir, e os resultados obtidos com o Resistógrafo a demonstrarem a profundidade e extensão dos danos.

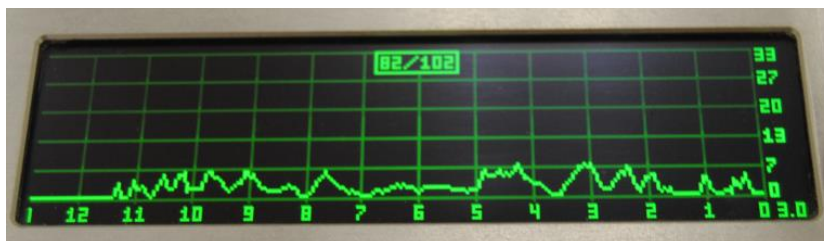


Figura 6.18- Perfil resistográfico da viga 6 esquerda

A viga tem um teor em água médio para o humidímetro de contacto de 12,97.

- Viga 7 Esquerda

A viga 7 esquerda é a viga que apresenta uma degradação biológica provocada pelo caruncho grande de maior dimensão, tanto em extensão como na profundidade de madeira afetada – **Figura 6.19**.

A extensão da degradação e a perda de secção observada permitiram aferir sobre os métodos de construção utilizados antigamente, visto que não existiam verificações estruturais com recurso ao cálculo, e, com o verificado atualmente, face às secções afetadas, a peça continua a desempenhar a sua função estrutural, embora sem cargas.



Figura 6.19-Degradação na viga 7 esquerda

Ao nível do uso do *Pilodyn*®, foi obtido um valor médio de  $26,2 \pm 2,8$ mm com um valor máximo de 31mm, que, como já referido na viga 6 esquerda, corrobora o fato da viga 7 esquerda, ter uma secção menor, embora uma dureza superficial superior.

Em análise com o Resistógrafo, -**Figura 6.20**- foi possível concluir que a viga em estudo não apresenta uma secção residual constituída por madeira sã, tal como a viga 6 esquerda, tendo

apenas secção e resistência suficiente para manter a peça na posição atual. Esta avaliação condiciona a avaliação estrutural desta viga no **capítulo 8** não sendo por isso considerada como de uso estrutural.

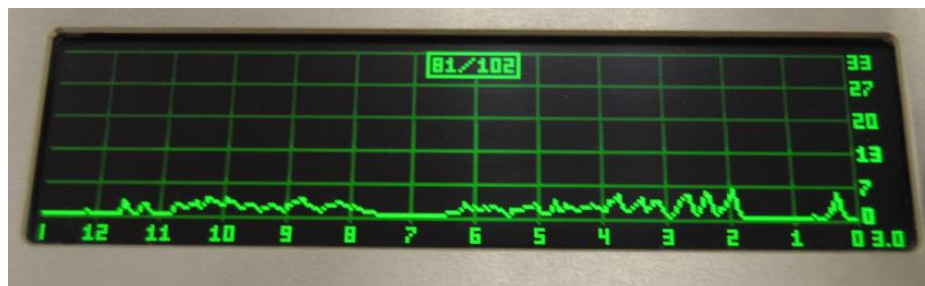


Figura 6.20- Perfil resistográfico da viga 7 esquerda

Esta viga apresentou um teor em água de 12,12% para o humidímetro de contacto.

- Viga 7 Direita

A viga 7 direita encontra-se como perceptível no alinhamento da viga 7 esquerda, e ao contrário desta última não apresenta sinais de degradação visíveis- **Figura 6.21**. Foi dada especial atenção à zona junto ao apoio na alvenaria pois tinha um aspeto diferente do resto da viga, o que, numa primeira observação levava a crer que esta teria degradação biológica. Após a inspeção visual conclui-se que a qualidade da madeira estava inalterada e que as modificações eram apenas de origem estética, e a existência de descaio. No entanto, após a realização do ensaio com o Resistógrafo foi possível aferir que existe efetivamente degradação biológica, mas por caruncho pequeno, o que foi importante para alertar para o fator subjetividade a que esta técnica está sujeita.

É uma viga sã, com um teor em água médio medido pelo humidímetro de contacto de 11,86%. A nível dos resultados obtidos com o *Pilodyn*®, foram executados 10 ensaios na extensão da viga, e foi obtido um valor médio de penetração de  $12,9 \pm 1,5$  mm.



Figura 6.21- Alteração cromática na viga 7 direita

Foram efetuados 4 ensaios válidos nesta viga, dois a 60 cm da viga central e dois a 30 cm do tarugo, do lado direito deste. Nos dois primeiros ensaios, regista-se um perfil regular, em que a

agulha atravessou a peça radialmente, com uma resistência elevada, apenas se registando degradação que se supõe ser por caruncho pequeno nos últimos 5 mm da peça. – **Figura 6.22**

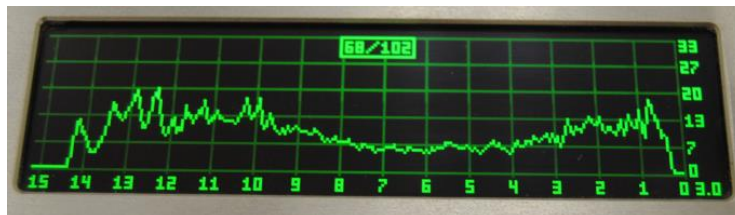


Figura 6.22- Perfil Resistográfico da viga 7 direita

Nos dois últimos perfis – **Figura 6.23**, foi observada uma ligeira degradação que se supõe ser por caruncho pequeno, tanto no início (na extensão de 11 mm) como no fim da peça (na extensão de 14 mm), que apesar de não resultar em perda de secção efetiva, será avaliada no **capítulo 8**, tendo em atenção a sua perda de resistência.

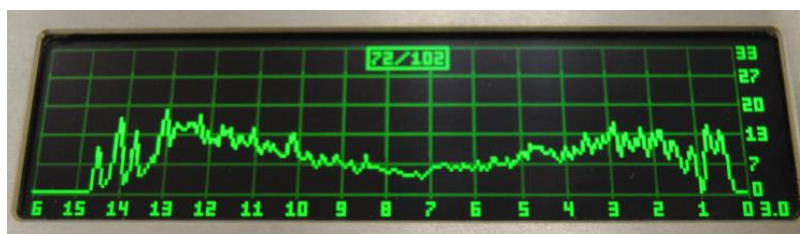


Figura 6.23- Perfil resistográfico na zona degradada da viga 7 direita

- Viga 8Esquerda

A viga 8 esquerda encontra-se sã em toda a extensão, tendo sido previamente escolhida para servir de termo de comparação relativamente aos outros elementos. Comparativamente às restantes vigas, apresenta uma secção de dimensões constantes, bem alinhada e sem empenos, com uma serragem muito perfeita. Esta situação foi notificada, pois encontraram-se elementos com uma serragem irregular, com descaio e empeno muito significativo, além das suas dimensões geométricas não serem constantes, que, comparativamente com este elemento, leva a crer que a escolha dos materiais utilizados na estrutura não foi feita com grandes cuidados.

Nos ensaios executados com o *Pilodyn*®, foi obtida uma profundidade média de perfuração por impacto de  $13,4 \pm 2,7$  mm.

Relativamente ao ensaio com o Resistógrafo, foram realizados dois furos, em que se registou um perfil com elevada resistência, confirmando a avaliação inicial – **Figura 6.24**.

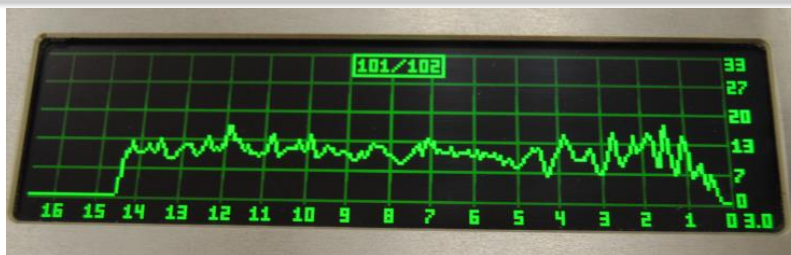


Figura 6.24- Perfil Resistográfico da viga 8 esquerda

A viga tem um teor em água médio medido com o humidímetro de contacto de 11,90%.

- Viga 8Direita

A viga 8 direita apresenta degradação biológica por caruncho grande de dimensões consideráveis, sendo que a perda de secção verificada encontra-se no **Quadro 6.7**.

Viga 8D	Inicial	Atual	Degradada	Secção Degradada (%)
<b>b (m)</b>	0,082	0,063	0,019	38,643
<b>h(m)</b>	0,144	0,115	0,029	
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	0,012	0,007	0,005	

Quadro 6.7- Perda de secção da viga 8direita

A degradação desta viga encontra-se essencialmente na face superior -**Figura 6.25**, situação que difere do padrão estabelecido para a estrutura, visto que a maioria das vigas regista as principais degradações nas faces laterais. Importa também referir que é a única viga do lado direito em que foi detetada degradação por caruncho grande, e esta mesma degradação se regista junto à parede, até ao tarugo, não se registando continuidade.



Figura 6.25- Degradação da viga 8direita

Relativamente ao ensaio com o *Pilodyn*®, foram feitos dez ensaios, sendo que o valor máximo de perfuração foi de 26mm, com uma perfuração por impacto média de  $20,1 \pm 3,6$  mm. O teor de humidade médio desta viga com o humidímetro de contacto foi de 12,2%.

Quanto ao ensaio com recurso ao Resistógrafo, foram efetuados 6 ensaios, dois na zona sã e quatro na zona degradada. Nos perfis da zona degradada, foi identificada degradação também na face inferior, numa extensão de 15mm, sendo que na face superior se regista degradação numa extensão de 35mm **Figura 6.26**.

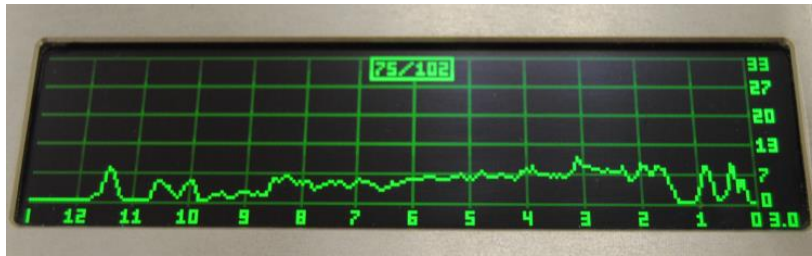


Figura 6.26- Perfil resistográfico da zona degradada da viga 8 direita

No perfil obtido na zona sã- **Figura 6.27**, verifica-se a total ausência de degradação de qualquer tipo, concluindo-se que o ataque está então apenas confinado à zona inicialmente identificada.

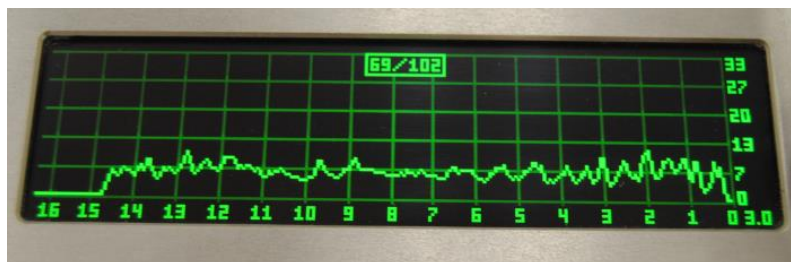


Figura 6.27- Perfil resistográfico da zona sã da viga 8 direita

- Vigas 1, 2, 10, 12, 12 e 13 Esquerdas e Direitas

Estas vigas foram agrupadas, pois apresentam todas o mesmo tipo de degradação biológica: ataque por caruncho pequeno- **Figura 6.28**. Foram encontrados vestígios em zonas localizadas em algumas vigas, sendo que em outras se registou degradação por este agente em toda a extensão das vigas -**Figura 6.28**, mas tal como já mencionado em 3.3.2.2, a degradação provocada por este agente não apresenta perda significativa de secção aparente, resultando principalmente em perda de massa e de resistência, embora difíceis de quantificar. Esta análise permitiu concluir que o foco de atividade desta espécie de insetos foi essencialmente nestas vigas, pois não foram verificados orifícios em número suficiente nas restantes vigas.



Figura 6.28- Orifícios de saída de caruncho pequeno

Por análise dos dados, conclui-se que nestas vigas se verificam teores em água médios obtidos com o humidímetro de contacto ligeiramente superiores à média, sendo que o valor máximo se

encontra neste conjunto de vigas. A presença de caruncho pequeno não estará relacionada com o teor em água superior à média, pela preferência conhecida deste agente por madeira seca.

A identificação deste agente nestas vigas interferiu diretamente com a atribuição de características mecânicas distintas, sendo que no **capítulo 8** estão referidas as modificações aplicadas aos valores.

- Viga central

A viga central é uma viga composta por duas vigas de secção regular sobrepostas, semelhantes às restantes, embora naturalmente com maior comprimento. São vigas de melhor qualidade, tendo observado por exemplo que o número de nós no conjunto das duas vigas é muito inferior à média verificada numa viga comum.

O teor em água obtido com o humidímetro de contacto foi de 13,03% o que se insere nos valores obtidos para as restantes vigas.

Relativamente ao ataque biológico, verificou-se que a viga superior constituinte da viga central apresenta uma secção degradada muito significativa no apoio do lado interno da casa- **Quadro 6.8**. Embora a perda de secção seja representativa, é apenas verificada numa extensão de 30-40 cm, não sendo a partir daí visível a continuidade do ataque.

Viga CS	Inicial	Atual	Degradada	Secção Degradada (%)
<b>b (m)</b>	0,065	0,059	0,006	35,813
<b>h(m)</b>	0,140	0,099	0,041	
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	0,009	0,006	0,003	

**Quadro 6.8- Perda de secção da viga central superior, junto ao apoio**

Na viga inferior, foi verificado uma ligeira perda de secção, que se encontra no **Quadro 6.9**:

Viga CI	Inicial	Atual	Degradada	Secção Degradada (%)
<b>b (m)</b>	0,065	0,062	0,003	7,442
<b>h(m)</b>	0,135	0,131	0,004	
<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	0,009	0,008	0,001	

**Quadro 6.9- Perda de secção da viga central inferior**

Assim sendo, e avaliando a viga central como um todo, composta pelas duas vigas superior e inferior, pode-se admitir uma perda de secção global indicada no **Quadro 6.10**. Esta avaliação global é importante para a avaliação estrutural que irá ser efetuada no **capítulo 8**.

Viga Central	Inicial	Atual	Degradada	Secção Degradada (%)
b (m)	0,065	0,061	0,005	22,154
h(m)	0,275	0,230	0,045	
Área (m <sup>2</sup> )	0,018	0,014	0,004	

Quadro 6.10- Perda de secção da viga central composta

## 6.5. Conclusões

### 6.5.1. Degradação biológica

Atendendo à idade estimada da estrutura, pode-se concluir que o principal problema, e fonte de anomalias nas peças, é o ataque por agentes biológicos, nomeadamente o caruncho grande e pequeno. A distribuição dos ataques encontra-se definida, com o ataque por caruncho grande a manifestar-se essencialmente nas vigas 8 direita, 4,5,6, 7, todas esquerdas, viga central inferior e viga central superior, e o ataque por caruncho pequeno nas vigas 1, 2, 10,11,12 e 13, esquerdas e direitas e 7 direita- **Figura 6.29**. Como já referido, quase todas as vigas apresentam degradação biológica por caruncho pequeno, embora neste ponto só se identifiquem os elementos que, pela extensão ou gravidade do ataque, apresentam um tipo de agente maioritário.

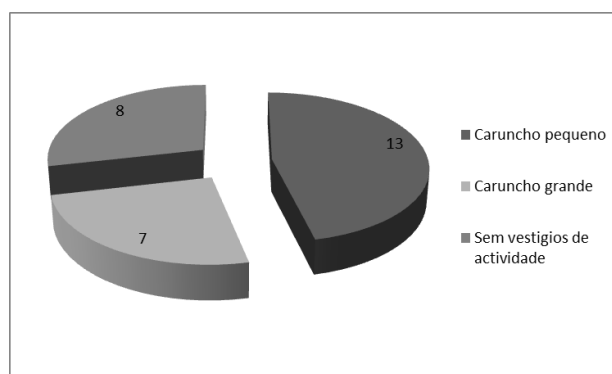


Figura 6.29- Distribuição da degradação biológica nas vigas

Tal como previsível pela classe de risco biológica atribuída, foi apenas este o agente biológico encontrado, não havendo indícios de problemas relacionados com podridão de qualquer espécie. A maior perda de secção foi verificada na viga 7 direita, sem delimitação concreta de secção residual, o que irá condicionar a sua avaliação estrutural bem como a da viga 6 esquerda. Foram verificadas perdas de secção significativas em 7 elementos, sendo que nas outras vigas se consideraram perdas de secção nulas, ou não representativas do elemento. O teor em água corresponde a uma madeira seca, sendo o valor inferior ao estipulado para a classe de risco em causa. Para o humidímetro de contacto, o valor médio do teor em água é de 12,6%, tendo em conta que a avaliação e os ensaios se realizaram nos meses de Verão. Os valores obtidos pelo humidímetro de contacto seguem um padrão constante e sem grandes oscilações.

### 6.5.2. Informações obtidas por meios auxiliares de diagnóstico

Pelo ensaio com o *Pilodyn* chegou-se a uma profundidade média de penetração por impacto nas vigas sãs, ou com degradação biológica não determinada, de 15,075mm e para as vigas degradadas de 25,90mm. Esta informação é meramente indicativa da espécie de madeira da estrutura, pois existem variações naturais dentro da espécie, de árvore para árvore. Através das correlações indiciadas em 6.3.2.1, foi permitido estabelecer valores para a massa volúmica com este ensaio. Não foram contabilizados os resultados das vigas com maior degradação e valores de zonas com degradação localizada, pois importa conhecer a massa volúmica da madeira inalterada, Assim, conseguiram-se os resultados presentes no **Quadro 6.11**.

Elemento	Média Profundidade de (mm)	Massa Volúmica (Kg/m <sup>3</sup> )	Massa Volúmica média (Kg/m <sup>3</sup> )
3D	18±2,5	482,1	567,9
4E	17±0,90	514,2	
7D	12,9±1,5	645,6	
8E	13,4±2,7	629,6	

**Quadro 6.11- Massa volúmica através da correlação com os resultados do *Pilodyn*®, segundo Henriques, 2011**

Os resultados obtidos em toda a campanha de ensaios com o *Pilodyn*® encontram-se no **anexo 6.A**. Importa ainda referir que os resultados dos ensaios revelam a dureza superficial das zonas ensaiadas, tendo em consideração as zonas específicas onde este se realiza podendo, por motivos de ordens várias, como a má escolha do local de ensaio, influenciar diretamente a caracterização das peças, podendo não ser o valor representativo da dureza de maioria da peça.

Pelo ensaio com o Resistógrafo verificou-se que as vigas 6 e 7 Esquerda não apresentam madeira sã na zona degradada, ou seja, não existe secção residual de facto, mas sim algumas fibras não degradadas entre as galerias formadas pelo caruncho que serão suficientes para manter a viga na posição. Este resultado é importante pois impede a classificação estrutural destas vigas.

### 6.5.3. Ligações

Após a inspeção visual, salienta-se a necessidade de se proceder ao reforço das ligações entre elementos, pois foram estes que suscitaram maiores dúvidas devido ao seu aspeto frágil e pouco sólido. Em algumas vigas foi detetada degradação biológica nas ligações, bem como a presença de nós, fendas e deficiência nas condições de apoio.

### 6.5.4. Considerações sobre a inspeção visual

Uma das condicionantes da inspeção visual prende-se com o facto desta apenas avaliar a parte exterior da madeira, não permitindo concluir sobre o estado interno da secção. Nas vigas com degradação biológica, e com perda de secção efetiva, esta condicionante ganha especial importância pelo facto de não se poder saber, pela inspeção visual, até que ponto é que a

madeira da secção residual se encontra inalterada. É importante ter esta informação para que se possa proceder ao cálculo estrutural com uma secção que efetivamente existe na estrutura, e não com dimensões de madeira sã que não correspondem ao que existe na estrutura.

Pode dar-se o caso, o que se verificou nas vigas 6 e 7 Esquerda, em que apesar de existir uma secção aparente, esta não é em nenhum ponto de madeira sã, não podendo ser considerada como secção residual, mas sim de madeira afetada pela degradação biológica, que não foi de forma tão profunda atingida pela degradação, não tendo por isso destacado da viga, como na **Figura 6.30**.



**Figura 6.30- Parte de madeira destacada da viga**

Salienta-se ainda as más condições em que se realizou a avaliação, dando especial ênfase à sujidade acumulada ao longo dos anos nas vigas e na divisão em estudo, que se traduziu não só por pó como também por resíduos biológicos devidos à nidificação de pombos, como cascas de ovo, dejetos dos animais, bem como esqueletos destes. A má visibilidade das peças condicionou naturalmente a correta avaliação dos parâmetros em causa, tendo havido necessidade de em determinados casos se proceder à repetição de medições. A realização do trabalho em altura também é uma importante condicionante, pois aumenta a morosidade do trabalho e da recolha de informações, bem como os riscos para o técnico que procede à avaliação da estrutura. Estas condicionantes alertam para as características deste trabalho, pois num processo de inspeção de uma estrutura com dezenas ou até mesmo centenas de anos, é natural que as condições não sejam de todo as melhores, e que o técnico que vai proceder à avaliação tenha de estar preparado para aquilo que poderá encontrar, e saiba, de antemão, como contornar as dificuldades.

## 7. Aplicação da norma NP 4305:1995 ao caso de estudo

### 7.1. Considerações iniciais

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos pela aplicação da norma nacional para avaliação de madeira nova de Pinho Bravo NP 4305:1995. Tal como referido no **capítulo 5.1**, foram medidos e analisados apenas três defeitos seguindo os critérios da norma: presença de nós, inclinação do fio e taxa de crescimento. Para cada uma das vigas foi seguido um mesmo plano de medições, para que se possa minimizar os erros decorrentes de uma campanha experimental, e cada elemento teve associado uma ficha de inspeção visual – **Figura 7.1. Anexo 7.D**.

Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento _____		Fotografia (Opcional)				
Secção (bxh) _____ x _____ (m)						
Comprimento _____ (m)						
Dimensão do Apoio _____ (m)						
Espécie _____						
Teor em água _____ %						
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		Dmaior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
Taxa de Crescimento *		Comprimento Medido (m)	Nº de anéis	R (m)		
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio		Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	$i = BC/AC$		
Degradação Biológica (Apenas informativo)						
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)						
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)						

Figura 7.1-Ficha de Inspeção visual (adaptado de Branco & Sousa, 2014; Cândido, 2013)

### 7.2. Apresentação de resultados

Tendo em conta os três parâmetros definidos para a análise da estrutura pela norma NP 4305:1995, foi efetuada uma classificação parcial viga a viga, para cada um dos parâmetros.

Feita a classificação para cada um dos parâmetros, foi escolhido o condicionante, para cada uma das vigas, de forma a atribuir uma classificação final.

### 7.2.1.Nós

Para a avaliação dos nós existentes nas peças, foi feita em primeiro lugar uma apreciação quanto à forma de agrupamento dos nós. Seguidamente foram avaliadas as suas dimensões, tendo em conta se se tratavam de nós redondos ou elípticos. O estado do nó (podre, são ou solto) não foi tido em conta nesta avaliação. Seguidamente foram calculados o KAR Marginal e o KAR Total, com recurso a esquemas e cálculos auxiliares presentes nos **anexos 7.A.1 a 7.A.4** e nas **Peças desenhadas 3 a 9**.

A avaliação correta do KAR implica que se consiga determinar corretamente a localização da medula, para que se possa estimar com precisão o vértice do cone em que se desenvolve o nó. Quando a medula está presente, ou se consegue determinar com clareza a sua localização pela análise dos topos ou laterais das peças, a tarefa é facilitada. Quando a medula não se encontra, existem duas soluções possíveis: ou o nó é trespassado e a avaliação do KAR se faz pela leitura de medições nas faces trespassadas, ou o nó não é trespassado sendo impossível determinar o seu fim. Neste último caso assume-se que a medula se encontra a meio da seção sendo aí que se encontra o fim do nó. Os esquemas utilizados para a determinação do parâmetro KAR encontram-se nas peças desenhadas e consistem na avaliação da área total ocupada pelo nó e da área marginal, numa secção.

Neste caso específico, em 7 das 28 peças, foi possível localizar a medula no centro de uma das faces, sendo que nas restantes a sua localização foi considerada no centro da peça. Como os topos estão todos não acessíveis ou parcialmente visíveis, optou-se por esta simplificação nas restantes peças das peças. Esta situação acarreta erros, mas a decisão foi tomada para garantir a viabilidade da inspeção.

Os nós apresentam contornos bem definidos, sendo a grande maioria de formato circular, facilitando por isso as medições. A determinação de nós repassados foi verificada numa pequena percentagem de elementos, pois os nós não se encontravam no mesmo alinhamento em faces paralelas. Contudo, não se põe de parte a hipótese de existirem nós repassados, embora seja impossível estudar o desenvolvimento de todas estas singularidades no interior das peças.

Devido à presença de degradação as medições de nós nessa área foram mais conservativas, tendo em atenção que embora a degradação não afete a totalidade do nó, poderá alterar as suas fronteiras, como observável na **Figura 7.2**



Figura 7.2- Nó em zona de degradação

Relativamente aos resultados parciais obtidos no que se refere aos nós, conclui-se que das 25 vigas analisadas, 7 correspondem à classe de qualidade E, e as restantes à classe de qualidade EE, como observável no **Quadro 7.1**.

Vigas de Classe E	
2 Direita	
6 Direita	
8 Direita	
13 Direita	
4 Esquerda	
9 Esquerda	
12 Esquerda	

Quadro 7.1- Vigas de Classe de Qualidade E, pela avaliação dos nós

### 7.2.2.Taxa de Crescimento

Na inspeção visual que foi realizada às peças, a avaliação da taxa de crescimento foi o parâmetro mais difícil de quantificar, pois nem todos os topos das peças se encontram visíveis, e aqueles que se encontra, não o estão na sua totalidade, impedindo a correta contagem. Exemplo disso são as vigas esquerdas 1,2,3 e 4 com os topos completamente encastrados num maciço de

cimento de 0,41m, que não permitiu avaliar nem a extensão do apoio nem tão pouco a taxa de crescimento. As vigas do lado direito da divisão, apesar de terem os topos livres não permitem a avaliação da taxa de crescimento de forma expedita, com os topos a escassos centímetros da parede, não facilitando a observação direta- **Figura 7.3.**



**Figura 7.3- Apoios das vigas na alvenaria**

Esta situação pode ser contornada numa situação muito específica, caso as peças estejam cortadas radialmente, e o corte intersecte a medula, podendo quantificar-se os anéis de crescimento até ao bordo da peça. No caso em estudo, esta situação verifica-se em 7 dos 27 elementos, sendo por isso o parâmetro que condiciona toda a inspeção.

A inspeção foi dificultada pelo estado de sujidade em que as peças se encontravam e mesmo se procedendo a uma limpeza com uma escova, foi complexa a contabilização dos anéis.

No caso de estudo, e feita a contagem dos anéis de crescimento, todas as peças em que se realizou a medição encontram-se dentro dos limites impostos pela norma NP 4305:1995, para a classe de qualidade parcial EE.

Todos os cálculos e medições encontram-se no **anexo 7.C.**

### **7.2.3. Inclinação do fio**

Tal como referido em **5.2.3**, a medição da inclinação do fio, deve ser feita num comprimento suficientemente grande, e longe de defeitos que possam modificar o normal desenvolvimento do fio ou impedir a leitura, como é o caso da presença de nós ou de degradação biológica. Assim, foram efetuadas medições num comprimento de aproximadamente 50cm, não se localizando naturalmente na mesma posição nas diferentes peças.

Todos os elementos se enquadram na classe de qualidade parcial EE, o que implica que tenham uma inclinação do fio inferior a 0,1, situação que se verificou com grande margem, havendo casos onde a inclinação foi mesmo zero, sinal que a serragem se procedeu na direção correta, não comprometendo por isso o desempenho mecânico das peças.

Todas as medições e cálculos justificativos se encontram nos **anexos 7.B.1 a 7.B.3.**

### 7.3. Conclusões

Pela aplicação da norma NP 4305:1995, tendo em conta os condicionalismos já mencionados no **capítulo 5**, pode-se concluir que o parâmetro que condiciona a avaliação das peças é a existência e o desenvolvimento dos nós. Por esse motivo, 7 das peças inserem-se na classe de qualidade de estruturas (E), a que corresponde uma classe de resistência C18, e as restantes 18 inserem-se na classe de qualidade EE, a que corresponde uma classe de resistência C35. Ao caracterizar-se a estrutura segundo as classes de qualidade, atribuem-se assim valores característicos intrínsecos das classes de resistência respetivas. Caso disso mesmo, são os valores de massa volúmica médios definidos na EN 338:2009, que para o caso da classe C18 é de 380 Kg/m<sup>3</sup> e para a classe C35 é de 480Kg/m<sup>3</sup>, que podem assim também ser comparados os valores de massa volúmica média estimada com o *Pilodyn*®, que neste caso tem um valor de 567,9 Kg/m<sup>3</sup>, concluindo-se assim que a norma atribui uma massa volúmica inferior à real. Os resultados demonstram que apesar do mau aspeto inicial que a estrutura apresentava, as características mecânicas existentes na estrutura inicial são as requeridas, sendo apenas o aproveitamento da estrutura condicionado pela degradação biológica.

Através da classificação da qualidade e conseqüentemente a classificação da resistência mecânica, é possível proceder-se ao cálculo estrutural de forma a entender quão profundos são os danos causados pela degradação biológica, permitindo assim dotar os técnicos de mais uma ferramenta de decisão na hora da reabilitação.

Esta abordagem tem como já referido a vantagem de ter em conta as condicionantes próprias de uma estrutura em uso, como a presença de degradação biológica, que se a norma fosse seguida na totalidade determinaria a não classificação de praticamente todos os elementos, ou o descaio das peças, verificado de forma acentuada em alguns elementos. Desta forma, avaliaram-se apenas as anomalias que poderão condicionar a continuidade em serviço da estrutura, tornando a aplicação da norma mais razoável face às estruturas em serviço bem como mais expedita.

Como principal desvantagem apresentou a não realização da determinação da taxa de crescimento em todos os elementos, fator que incluiria mais uma incógnita no processo de avaliação, permitindo determinar mais informação sobre a estrutura em estudo. Com os topos não acessíveis e apenas alguns dos cortes a realizarem-se no sentido radial com intersecção de medula, foi impossível proceder-se a medições em todos os elementos, ficando a informação da taxa de crescimento condicionada, extrapolando-se a informação para o resto da estrutura.

Conclui-se ainda que a norma apresenta intervalos de valores admissíveis para os parâmetros que permitem uma dispersão de valores bastante grande, afastando por isso a ideia pré concebida de rigidez nos intervalos de valores impostos pela norma, admitindo peças com resultados dos parâmetros muito significativos. Esta situação é verificável no caso dos nós, sendo mais significativa a sua dimensão na face, e a sua localização (se atinge ou não as zonas marginais), do que a localização da medula ser na face ou no centro da peça. Relativamente à

medição da taxa de crescimento e da inclinação do fio conclui-se também que todas as peças se incluem na classe especial de estruturas EE, com uma margem considerável nos valores obtidos.

A norma apresenta os valores, métodos e parâmetros a avaliar tendo em consideração o estudo de madeira nova. Como já mencionado no caso da determinação da taxa de crescimento, a avaliação de madeira nova permite todos estes estudos, pois encontra-se num ambiente controlado e de acesso facilitado, situação nem sempre verificada em obra, com as peças não totalmente acessíveis, sendo que no caso em estudo, a esta última condicionante juntou-se o facto de o trabalho ter sido desenvolvido na íntegra em altura.

Sendo um trabalho de estudo, todas as conclusões e decisões definitivas que se retirassem da análise da estrutura teriam naturalmente de ser corroboradas com recurso a ensaios em laboratório, com extração de carotes, ou recurso a outros métodos de ensaio não tradicionais.

## 8. Verificação da estrutura aos estados limite

### 8.1. Considerações gerais

Após a atribuição de uma classe de resistência à estrutura, é possível proceder-se à verificação da segurança estrutural através das normas em vigor, o que no caso das estruturas se processa através de um conjunto de normas, desde a EN 1990:2009 até à EN 1999:2009. Este grupo de normas é conhecido por Euro códigos.

Para as estruturas de madeira, são três as normas de cálculo a ser seguidas:

- NP EN 1990:2009 – Bases para o projeto de estruturas – Eurocódigo 0;
- NP EN 1991:2009 - Ações em estruturas – Eurocódigo 1;
- EN 1995:2004 -*Design of Timber Structures* – Eurocódigo 5.

A verificação de uma estrutura passa pela sua avaliação e aceitação aos vários estados limite. Por estado limite entende-se os estados para além dos quais a estrutura passa a não satisfazer os critérios de projeto mais significativos (NP EN 1990:2009). Os estados limite podem dividir-se em dois: estado limite último e estado limite de utilização.

Um estado limite último, está como o nome indica, associado à capacidade última de uma estrutura resistir a ações que levem ao colapso ou outro tipo de ruína estrutural (NP EN 1990:2009). De uma forma simplista, a avaliação da estrutura a um estado limite último revela as ações máximas que a estrutura pode suportar, garantindo a segurança dos seus utilizadores. Existem três estados limites últimos que podem ser avaliados: segurança ao bambeamento, ao corte e à flexão simples. Neste capítulo serão verificados os dois últimos, uma vez que se considera que o bambeamento está impossibilitado pelo tarugamento.

Os estados limite de utilização correspondem às condições para além das quais os requisitos impostos para a correta utilização da estrutura deixam de ser garantidos (NP EN 1990:2009). De forma expedita, quando um estado limite de utilização é ultrapassado, a segurança da estrutura mantém-se, mas a sua utilização já não confere os parâmetros de conforto, aspeto e uso requeridos pelos utilizadores. Os estados limites de utilização existentes são a verificação à deformação e à vibração, sendo que só a deformação será avaliada neste capítulo.

Os estados limite a avaliar neste capítulo serão calculados tendo em atenção as secções degradadas, para que se possa aferir se a diminuição de secção resulta ou não na perda de capacidade estrutural, tendo em conta as ações dimensionadas para o projeto.

Ao verificar o comportamento das estruturas às solicitações, os modelos de dimensionamento previstos nas normas devem ter em conta: as propriedades dos materiais que constituem a estrutura a curto e longo prazo, as condições climáticas em que a estrutura se encontra e as condições e durações dos carregamentos (Machado et al., 2009, a).

Importa referir que as vigas 6 e 7 esquerda não foram avaliadas estruturalmente, pois os resultados obtidos no **capítulo 6** não permitiram aferir sobre uma secção residual efetiva. A viga 4 direita, não tendo sido inspecionada visualmente por questões de segurança, também não foi avaliada estruturalmente.

### 8.1.1. Valores adotados para o sistema estrutural

Entende-se como valores do sistema estrutural os valores que são intrínsecos da madeira em serviço e do caso em estudo, como sendo: a massa volúmica, os valores que se obtêm pela atribuição da classe de resistência e valores de sobrecarga.

Um dos valores indispensáveis ao cálculo dos estados limites último é a carga sobre a estrutura, que é composta pelo peso próprio dos elementos de madeira, pelas cargas permanentes e pela sobrecarga a que a estrutura possa estar sujeita. O peso próprio das peças é determinado através da massa volúmica da espécie de madeira e da secção do elemento. Tendo em consideração os valores obtidos pela correlação com a massa volúmica, e os valores mencionados na norma EN 338:2009, será considerado um valor médio de 3,8 kN/m<sup>3</sup> para a classe C18 e 4,80 kN/m<sup>3</sup> para a classe C35, sendo efetuadas duas análises separadamente, tendo em conta os valores presentes na norma e o valor obtido pelo ensaio com o *Pilodyn*®, que foi de 5,679 kN/m<sup>3</sup>. Esta análise diferenciada permite aferir sobre os valores atribuídos à massa volúmica de forma experimental (através do ensaio com o *Pilodyn*®) e analítica, e entender de que forma os valores conservativos da norma influenciam os resultados dos esforços, visto os valores experimentais serem significativamente superiores aos anteriores. Seguindo estudos de Mendes (2012), dever-se-ia proceder a uma redução da massa volúmica na ordem dos 15% nas vigas 1,2,10,11,12,13 esquerdas e direitas e 7direita, tal como registado mais adiante para outros parâmetros, devido à existência de degradação biológica por caruncho pequeno. No entanto não se efetuará esta alteração pois iria diminuir as cargas a que a estrutura está sujeita, tornando-se numa hipótese menos gravosa de cálculo. Para o cálculo do peso próprio da estrutura considerou-se a seguinte equação:

$$pp_{vigas} [kN / m] = Massa\ volúmica [kN / m^3] \times altura\ secção [m] \times base\ secção [m] \quad (8.1)$$

Tendo em conta as perdas de secção verificadas pelo desenvolvimento da degradação biológica por caruncho grande, nas vigas em que se regista perda de secção, será feita a avaliação tendo em atenção a localização dos esforços máximos, como será explicado adiante, e a secção com a sua área total e com a diminuição de secção. Desta forma poderá ser avaliado, se as vigas, com a secção atual verificam a segurança, ou se, por outro lado, a degradação é de tal forma significativa que impede a verificação estrutural dos elementos.

Para o peso próprio do revestimento de teto, considerou-se uma solução tradicional de estuque, com uma massa volúmica de 0,20kN/m<sup>3</sup> com o revestimento com uma altura de 4 cm, (Farinha & Reis, 1992), calculada por metro quadrado de teto, como na equação seguinte:

$$pp_{\text{revestimento}} \left[ \text{kN} / \text{m}^2 \right] = \text{Massa volúmica} \left[ \text{kN} / \text{m}^3 \right] \times \text{altura revestimento} \left[ \text{m} \right] \times b_{\text{adj}} \quad (8.2)$$

Para a contabilização da sobrecarga a que a peça está sujeita é necessário recorrer à NP EN 1991:2009, para que se possa atribuir à estrutura em estudo uma categoria de utilização, e a respetiva sobrecarga. É preciso ter em conta que, para este caso específico em estudo, os valores atribuídos à estrutura em estudo denotam que o uso da estrutura se vai manter o mesmo, uso habitacional, pois caso haja uma alteração no uso é preciso rever a categoria de utilização, e consequentemente a respetiva sobrecarga. A sobrecarga admitida considera a possibilidade de ser colocado um pavimento sobre as vigas, passando assim o teto a ser visitável. No caso da estrutura de suporte do teto, a categoria de utilização é a A, como se pode verificar no **Quadro 8.1**.

Categoria	Utilização específica	Exemplos
A	Act. Domésticas e residenciais	Salas em edifícios de habitação; quartos e enfermarias de hospitais; quartos de hotéis, cozinhas e lavabos

**Quadro 8.1- Categoria de Utilização da estrutura (adaptado de NP EN 1991-1-1:2009)**

Os valores das cargas são afetados pela banda de distribuição de carregamento sobre cada uma das vigas, ou seja, pela soma da metade do seu afastamento a cada uma das vigas adjacentes,  $b_{\text{adj}}$ .

Seguidamente, pode-se atribuir a sobrecarga (sc) adequada à estrutura, que neste caso será de 2,0 kN/m<sup>3</sup>, numa solução mais conservativa, como se pode verificar no **Quadro 8.2**.

Categoria A	$q_k \left[ \text{kN} / \text{m}^2 \right]$	$Q_k \left[ \text{kN} \right]$
Pavimentos	1,5 a 2,0	2,0 a 3,0

**Quadro 8.2- Sobrecarga na estrutura em estudo (adaptado de NP EN 1991-1-1:2009)**

Importa referir que a estrutura será verificada tendo em conta a modificação do seu uso, passando a existir outra divisão, que apoiará na estrutura do teto, em que se irá resultar um aumento da sobrecarga. Numa outra análise, a estrutura manterá o seu uso atual, sendo que a sobrecarga terá um valor aproximadamente nulo.

Desta forma o valor do carregamento dimensionado de acordo com a estrutura é atribuído pela equação:

$$\text{Carregamento}_{\text{vigas}} \left[ \text{kN} / \text{m} \right] = \left( pp_{\text{vigas}} \left[ \text{kN} / \text{m} \right] + pp_{\text{revestimento}} \times b_{\text{adj}} \left[ \text{kN} / \text{m} \right] \right) \times \gamma_G \quad (8.3)$$

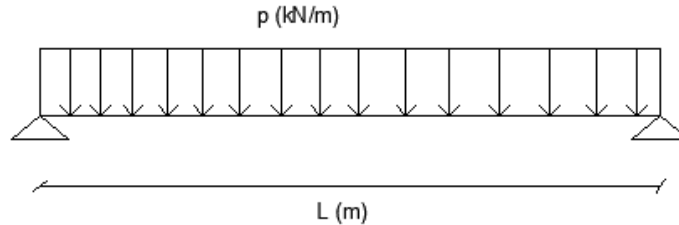
$$+ sc \times b_{\text{adj}} \left[ \text{kN} / \text{m} \right] \times \gamma_Q$$

Em que (NP EN 1990:2009):

$\gamma_G$  – coeficiente parcial relativo às ações permanentes, que também cobre incertezas de modelação e desvio nas dimensões, e tem um valor de 1,35;

$\gamma_Q$  – coeficiente parcial relativo às ações variáveis, que também cobre incertezas de modelação e desvio nas dimensões, e tem um valor de 1,50.

Para os cálculos de verificação, foi admitido que as vigas laterais são simplesmente apoiadas e a carga encontra-se uniformemente distribuída como na **Figura 8.1**.



**Figura 8.1- Esquema de apoios e distribuição de cargas**

Relativamente à viga central, esta apresenta um apoio intermédio, sendo que se considera que as vigas laterais descarregam na central ao longo de todo o seu comprimento, com o somatório dos pesos próprios e do revestimento a atuar como uma carga uniformemente distribuída, com uma área de influência igual à distância entre vigas, que é de 0,42 m.

## 8.2. Estados Limite Últimos

Para o cálculo, considerou-se, pela NP EN 1990:2009, a seguinte combinação de ações para situações de projeto persistentes ou transitórias, consideradas fundamentais pela norma:

$$E_d = E \left\{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_{Q,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (8.4)$$

sendo que a parte da expressão entre parenteses pode ser expressa como na equação seguinte:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (8.5)$$

Em que:

$E_d$  - valor de cálculo do efeito das ações;

$E$  - efeito de uma ação;

$\gamma_{G,j}$  – coeficiente parcial relativo à ação permanente  $j$ ;

$\gamma_{Q,i}$  – coeficiente parcial relativo à ação variável  $i$ ;

$G_{k,j}$  – valor característico da ação permanente  $j$ ;

$Q_{k,1}$  – valor característico da ação variável de base de combinação 1;

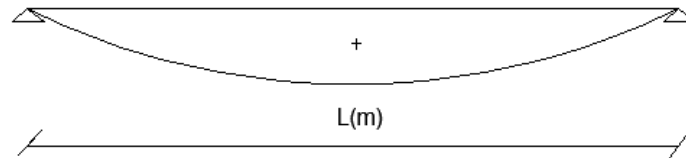
$Q_{k,i}$  – valor característico da ação variável acompanhante  $i$ ;

$Q_{k,i}$  – valor característico da ação variável acompanhante  $i$ ;

$\psi_{0,i}$  – coeficiente para a determinação do valor de combinação da ação variável  $i$ ;

### 8.2.1. Flexão Simples

A verificação da segurança da estrutura à flexão simples implica um estudo pormenorizado das tensões normais atuantes nas zonas em que o momento é máximo, o que na maioria das situações, e neste caso prático em particular, se verifica a meio vão como se pode verificar pela **Figura 8.2.**



**Figura 8.2- Momento máximo na viga**

Relativamente à metodologia de cálculo, será seguida a presente na EN 1995:2004, que permite verificar a segurança da estrutura pela equação seguinte:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \quad [kPa] \quad (8.6)$$

sendo que:

$\sigma_{m,d}$  – valor de cálculo da tensão à flexão [kPa]

$f_{m,d}$  – valor de cálculo da resistência à flexão [kPa]

em que:

$$f_{m,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \quad [kPa] \quad (8.7)$$

sendo que:

$k_{mod}$  – fator de modificação da resistência em função da duração da carga, que neste caso é de 0,60 para ações permanentes como o peso próprio das vigas e revestimento, e para ações variáveis, como as sobrecargas, que se consideram de média duração e por isso têm o valor de 0,8, como verificável no **Quadro 8.3.**

Material	Norma	Classe de Serviço	Duração das ações				
			Permanentes	Longa duração	Média duração	Curta Duração	Instantaneas
Madeira Maciça	EN 14081-1	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 8.3- Fator  $k_{mod}$  (adaptado de EN 1995:2004)**

O EC5 (EN 1995:2004) estabelece três classes de serviço, sendo que a 1 se aplica a situações em que se apresenta um teor em água dos materiais correspondente à temperatura de 20°, e uma humidade relativa ambiente que excede os 65% em algumas semanas do ano; a classe 2

caracteriza-se por ter a madeira da estrutura com um teor em água para uma temperatura ambiente de 20°, com uma humidade relativa do ambiente superior a 85% em apenas algumas semanas do ano; e por último a classe 3 que devido às condições climáticas verificáveis, apresenta valores de teor em água dos materiais superiores às existentes para a classe 2.

A classe de serviço atribuída neste caso é a 2. Esta decisão assenta no facto de ser uma zona de teto, que se encontra sob o telhado, sem isolamento intermédio, e que está sujeita às variações de humidade relativa do ar decorrente das alterações das estações do ano.

$f_{m,k}$  – valor característico da resistência à flexão [ $kN/m^2$ ], que para o caso de pinho bravo da classe C18 é de 18 000  $kN/m^2$  e para a classe C35 é de 35 000 $kN/m^2$  (EN 338:2009). No caso das vigas 1,2,10,11,12 e 13 esquerdas e direitas, e 7 direita, procedeu-se a uma diminuição deste valor na ordem dos 15%, devido à presença da degradação por caruncho pequeno, visto que não é possível contabilizar exatamente a perda de secção nem a perda de resistência inerentes. Este valor foi estabelecido com base no estudo desenvolvido por Mendes (2012).

$\gamma_M$  – coeficiente parcial relativo a uma propriedade de um material, que também cobre incertezas de modelação e desvios de dimensões. Neste caso o valor do coeficiente é de 1,3, como verificável, para madeira maciça (*solid timber*) no **Quadro 8.4**.

Fundamental combinations:	
Solid timber	1,3
Glued laminated timber	1,25
LVL, plywood, OSB,	1,2
Particleboards	1,3
Fibreboards, hard	1,3
Fibreboards, medium	1,3
Fibreboards, MDF	1,3
Fibreboards, soft	1,3
Connections	1,3
Punched metal plate fasteners	1,25
Accidental combinations	1,0

**Quadro 8.4- Valor de  $\gamma_G$  (EN 1995:2004)**

O valor  $\sigma_{m,d}$  é obtido por:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{sd}}{w} \Leftrightarrow \frac{\frac{P \times L^2}{8}}{\frac{b \times h^2}{6}} [kPa] \quad (8.8)$$

em que:

$M_{sd}$  – Valor de cálculo do momento [ $kN.m$ ];

w – módulo de flexão [ $m^3$ ];

P – carregamento do elemento, neste caso, da viga [kN/m];

L- comprimento do elemento, neste caso, da viga [m].

sendo que a segurança é então verificada por:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{mod}} \leq \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} [kPa] \quad (8.9)$$

### 8.2.2.Corte

O estudo da resistência de um elemento ao corte implica uma análise cuidada das zonas de esforço transversal máximo, para se avaliar as tensões tangenciais (Machado et al., 2009, a). No caso da estrutura em estudo, com o esquema de carregamento já indicado em **8.1.1**, as zonas de esforço transversal máximo localizam-se nos apoios, com uma distribuição de tensões como na **Figura 8.3**.

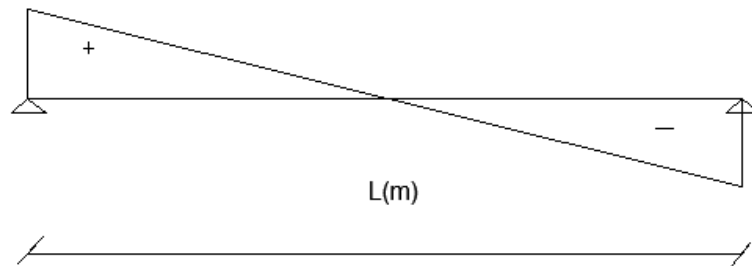


Figura 8.3- Distribuição de tensões tangenciais

A segurança ao corte é verificada pela equação seguinte:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{mod}} \leq \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} [kPa] \quad (8.10)$$

em que:

$\tau_d$  – Tensão transversal na estrutura [kPa], obtido pela equação;

$f_{v,d}$  – valor de cálculo da resistência ao esforço transversal [kPa], calculado pela equação

$$\tau_d = \frac{V_{s,d}}{A_v} [kPa] \quad (8.11)$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \times \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} [kPa] \quad (8.12)$$

em que:

$V_{s,d}$  – valor do esforço transversal de cálculo [kN], calculado pela equação;

$A_v$  – área sujeita a tensão transversal [m<sup>2</sup>], calculado pela equação;

$f_{v,k}$  – tensão de resistência ao corte, que para o caso do pinho bravo de classe C18 é  $2000\text{kN/m}^2$  e de classe C35 é  $3400\text{kN/m}^2$ , No caso das vigas 1,2,10,11,12 e 13 esquerdas e direitas e 7 direita, procedeu-se a uma diminuição deste valor na ordem de 15%, devido à presença da degradação por caruncho pequeno, tal como referido anteriormente.

$k_{mod}$  e  $\gamma_M$  – já mencionados em 8.2.1.

$$V_{s,d} = \frac{P.L}{2} [kN] \quad (8.13)$$

$$A_v = \frac{2 \times b \times h}{3} [m^2] \quad (8.14)$$

P, L, b e h já mencionados em 8.2.1;

sendo que a segurança é então verificada por:

$$\frac{\tau_d}{k_{mod}} \leq \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} [kPa] \quad (8.15)$$

### 8.3. Estados Limite de Utilização

Para o cálculo, considerou-se, pela NP EN 1990:2009, a seguinte combinação característica de ações para situações de projeto persistentes ou transitórias, consideradas fundamentais pela norma:

$$E_d = E \{ G_{k,j}; P; Q_{k,1}; \psi_{0,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (8.16)$$

sendo que a parte da expressão entre parênteses, designada por combinação característica pode ser expressa como na equação seguinte:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (8.17)$$

Os significados das incógnitas encontram-se em 8.2.

Tal como no cálculo dos estados limites últimos, a variável de pré-esforço não será tida em conta no cálculo, bem como a variável acompanhante, pois não se adequam à situação em estudo de estrutura em madeira em serviço. Por ação variável assume-se a sobrecarga a que a estrutura estará sujeita, que já foi referida acima.

#### 8.3.1. Deformação

No caso em estudo, e atendendo que as vigas são simplesmente apoiadas, a deformação máxima expectável será admitida a meio vão. O esquema de deformações numa viga deste tipo é o observável na **Figura 8.4**:

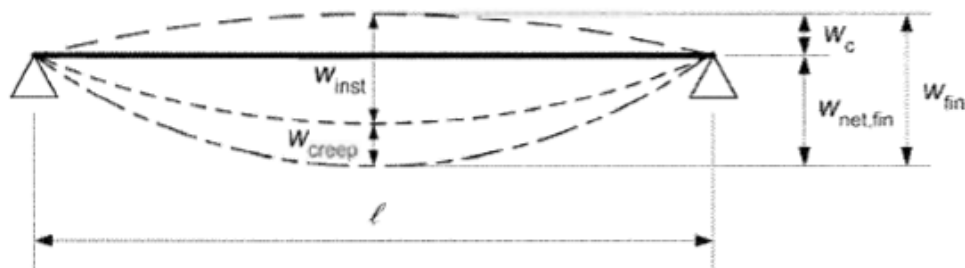


Figura 8.4- Deformação numa viga simplesmente apoiada (BS EN 1995-1-1:2004)

em que:

$w_{fin}$  – deformação final da viga [m];

$w_{creep}$  – deformação devida à fluência [m];

$w_{inst}$  – deformação instantânea [m];

$w_c$  – pré- flecha, não aplicável neste caso, visto ser uma estrutura de madeira em serviço [m];

$w_{net, fin}$  – deformação final considerando a pré-flecha.

A deformação final é obtida pela equação:

$$w_{fin} \leq \frac{L}{250} [m] \quad (8.18)$$

Sendo L o comprimento da viga em metros, este quociente máximo a verificar é obtido na EN 1995-1-1:2004, com o seguinte intervalo de valores, em que optou pelo médio como limite de deformação admissível:

$$\frac{l}{150} \leq w_{fin} \leq \frac{l}{300} [m] \quad (8.19)$$

Por simplificação, e numa primeira verificação da segurança, que será o seguido neste trabalho, é apenas importante quantificar a deformação devida à fluência que a estrutura já sofreu, admitindo-se apenas as ações permanentes (G), visto tratar-se de uma estrutura antiga, sendo que a deformação final é obtida pela equação:

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \times (1 + k_{def}) [m] \quad (8.20)$$

com:

$k_{def}$  – coeficiente de fluência, obtido para a classe de serviço 2 de madeira maciça pelo **Quadro 8.5**.

Material	Norma	Classe de serviço		
		1	2	3
Madeira maciça	EN 14081-1	0,6	0,8	2

Quadro 8.5- Coeficientes de fluência (adaptado de EN 1995-1-1:2004)

$w_{inst}$  é obtido pela equação, da deformação instantânea de uma viga simplesmente apoiada:

$$w_{inst} = \frac{5}{384} \times \frac{P \times L^4}{E \times I} [m] \quad (8.21)$$

Em que

E – Módulo de elasticidade, que no caso de pinho bravo da classe C18, é 9 kN/mm<sup>2</sup>, e na Classe C35 é 13 kN/mm<sup>2</sup>. No caso das vigas 1,2,10,11,12 e 13 esquerdas e direitas, e 7 direita, procedeu-se a uma diminuição deste valor na ordem dos 15%, devido à presença da degradação por caruncho pequeno, visto que não é possível contabilizar exatamente a perda de secção nem a perda de resistência inerentes.

I – Momento de inércia da secção [kg.m<sup>2</sup>], obtido pela equação:

$$I = \frac{b \times h^3}{12} [kg.m^2] \quad (8.22)$$

Por fim, a deformação final para este caso em estudo é dada pela equação:

$$w_{fin} = w_{inst} \times 1.8 [m] \quad (8.23)$$

## 8.4. Apresentação de resultados

Depois da determinação pela EN 1995:2004, de todos os valores auxiliares de cálculo, procedeu-se à verificação de segurança para todos os elementos da estrutura. A metodologia de cálculo completa encontra-se na totalidade no **anexo 8**, devido à grande extensão dos quadros e ao fato de serem quatro hipóteses diferentes de estudo. Em seguida, apresentam-se os resultados obtidos para cada estado limite e as principais conclusões.

### 8.4.1. Estados Limites Últimos

#### 8.4.1.1. Flexão Simples

Na verificação da segurança à flexão simples, concluiu-se que todas as vigas verificam a segurança a este estado, mesmo aquelas que registam uma secção residual bastante inferior à original. Esta situação deve-se essencialmente ao peso diminuto do revestimento, e esbelteza das peças, que permitem um peso próprio relativamente baixo. Mesmo na viga central, com dimensões superiores, a segurança é verificada, muito pelo apoio a meio vão, que tal como já referido, deverá ter sido colocado posteriormente, o que alerta para possíveis problemas de estabilidade da estrutura. Nas vigas em que a resistência foi diminuída devido ao ataque por caruncho pequeno, os resultados não foram significativos com exceção da viga 12 Esquerda, que regista uma relação próxima da unidade, que se deve à sua classe inferior e às suas dimensões mais reduzidas.

Na análise de resultados pode-se ainda concluir que as vigas que apresentam uma relação entre tensões mais próxima da unidade (com um valor máximo de 0,97) são as que apresentam uma

dimensão inferior e degradação biológica com perda efetiva de secção, o que, e no caso da degradação biológica ainda estar ativa, será um fator a ter em conta, pois se a perda de secção aumentar, o elemento poderá deixar de verificar a segurança à flexão simples. Além do já referido, as relações mais próximas da unidade verificam-se como seria de esperar na hipótese de mudança de uso da estrutura, em que se regista um aumento da sobrecarga, nas duas hipóteses de massa volúmica, sendo que na hipótese de manutenção do uso atual, todas as vigas verificam a segurança, com a relação mais elevada a ser de apenas 0,065, no caso mais gravoso de massa volúmica experimental.

Conclui-se ainda que a mudança de valor na massa volúmica experimental não condiciona os resultados, sendo que os resultados obtidos para a análise com a massa volúmica atribuída pela norma são os mesmos dos conseguidos pela análise com a massa volúmica experimental, em termos de verificação da segurança das vigas.

#### **8.4.1.2. Corte**

Relativamente à verificação da segurança ao corte, sendo que a secção a ter em conta era a dos apoios, conclui-se que todas as vigas verificam a segurança a este estado, tanto na hipótese da mudança no uso da estrutura, como na manutenção do uso da estrutura, nas duas hipóteses de massa volúmica. Este é ainda o estado que tem os valores da relação que verifica a segurança mais baixos, o que significa que a estrutura, mesmo com perdas de secção devidas à degradação biológica, está com uma grande margem, em segurança para este estado. Isto deve-se, tal como na verificação à flexão simples, ao baixo valor de peso próprio do revestimento, e das próprias vigas, não sobrecarregando a estrutura.

### **8.4.2. Estados Limites de Utilização**

#### **8.4.2.1. Deformação**

O estado limite de utilização de deformação da estrutura foi o estado em que menos vigas verificaram a segurança, todas elas na hipótese de mudança do uso da estrutura, ou seja, aumento da sobrecarga verificada, como verificável na **Figura 8.5**. Refere-se ainda que face à mudança de massa volúmica atribuída pela norma para a massa volúmica experimental com um valor superior à anterior, apenas mais uma viga deixa de verificar o estado de segurança à deformação.

Neste caso, as vigas que apresentam uma perda de secção muito significativa (Vigas 4E e 8D) e as que têm uma secção inferior às restantes (Vigas 1E, 1D, 9E, 12E, 10E, 11D e 13D), são as que não verificam a segurança à deformação. Esta situação é verificável, pois ao contrário do que acontece com os outros esforços calculados acima, quanto menores forem as dimensões da peça, maior será a deformação sofrida para uma mesma carga. Nas peças afetadas por degradação biológica, esta diminuição de dimensões é forçada pela secção residual.

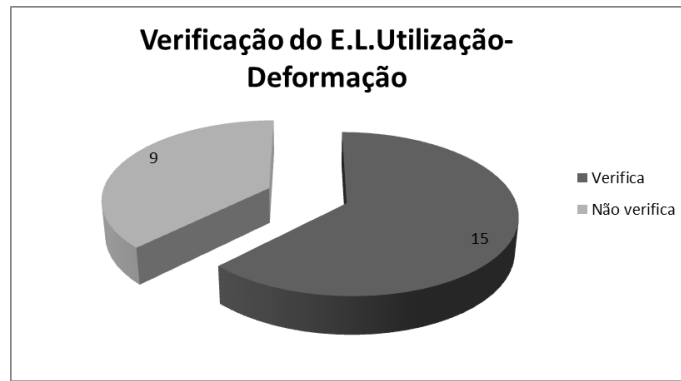


Figura 8.5- Verificação do E.L.Utilização- Deformação

Embora seja um estado limite de utilização, a deformação excessiva dos elementos poderá levar, num caso extremo, à rutura da estrutura. Pela avaliação realizada ter-se-ia que proceder à substituição dos elementos em causa, ou à alteração das condições de apoio, caso verificado na viga central.

#### 8.4.3. Conclusões Globais

Apesar da verificação feita aos três estados limite seguindo as linhas orientadoras do Eurocódigo 5, é necessário ter em análise que se trata de um estudo analítico da estrutura, com base em dados recolhidos experimentalmente, através da classificação visual. Naturalmente os valores considerados para a espécie e elementos em causa teriam de ser confirmados, com recurso a ensaios em laboratório, que permitiram obter uma caracterização mais clara dos elementos, diminuindo a margem de erro.

Um dos fatores mais importantes a ter em causa é a continuidade da atividade do ataque biológico, pois o estudo foi feito tendo em conta a estrutura tal como está, o que, caso a degradação biológica alastre, poderá não ser verificado num período de tempo breve, com uma diminuição ainda mais significativa da secção residual. Caso esta situação aconteça, a segurança aos diversos estados limite poderá não ser verificada, sendo que será necessário aplicar um tratamento preservador e curativo, que impeça a progressão do ataque. Outra conclusão a retirar da atividade biológica nos elementos, é que, mesmo que esta se verifique na realidade, e numa extensão e importância considerável, não é condição suficiente para que os elementos deixem de verificar a segurança estrutural aos elementos em estudo. Isto deve-se essencialmente ao fato das estruturas antigas estarem sobredimensionadas para as cargas a que estão efetivamente sujeitas, o que permite uma boa margem para o uso destas estruturas com presença de degradação, desde que não ativa.

Relativamente aos valores atribuídos à estrutura da massa volúmica, obtidos pelo ensaio com o *Pilodyn*®, concluiu-se que a diferença nos resultados não é significativa ao ponto de se registarem alterações na verificação da segurança dos elementos. Isto prende-se pelo facto da diferença da massa volúmica, quando calculado o peso próprio não adicione peso significativo, devido à dimensão diminuta dos elementos. Quanto maiores forem as dimensões da viga em

estudo maior será a influência de uma maior massa volúmica, aumentando o peso próprio, e consequentemente as ações.

Nesta análise foram só tidos em conta os estados limite descritos acima, o que, numa análise detalhada, teria de ser complementada com os restantes estados limite, quer de utilização quer últimos. A análise realizada permite numa primeira abordagem, tomar consciência do comportamento estrutural da estrutura, face ao aplicável nas normas atuais.

Quanto ao estado das ligações entre elementos, deve-se proceder ao reforço de ligações, nomeadamente entre as vigas secundárias e a central, pois a pregagem e o sistema de apoio encontram-se naturalmente deteriorados, com os sistemas de pregagem a apresentarem ferrugem e perda de secção devido à oxidação. Deve-se assim proceder à introdução de empalmes e calços, preferencialmente em madeira, aparafusados ou pregados entre as vigas laterais e central.

Nos casos em que a ligação não apresenta uma secção residual suficiente para se manter as condições de segurança, ou devido à sua deterioração esta seja quase inexistente, deverá ser ponderada a introdução de próteses de madeira nova na zona do apoio até à zona de madeira sã da viga existente, de características semelhantes a esta, que deverá ser corretamente fixada, por empalmes pregados ou aparafusados, na viga central, e na viga existente. No caso da viga central, seria importante reforçar a união entre as duas vigas que a compõem, para que a transmissão de esforços se faça corretamente, para que o conjunto funcione em unidade. Sugere-se assim a cintagem ou introdução de elementos metálicos por pregagem. Uma correta união poderá precaver danos futuros, e no caso da viga superior que tem alguma perda de secção, redistribuir esta pela peça toda, minimizando as consequências devidas a uma incorreta distribuição de esforços. Foi já implementada na estrutura uma solução para uma melhor distribuição das cargas, com o apoio central instalado sobre a forma de tirante.



## 9. Considerações finais

Neste capítulo encontram-se as principais conclusões deste trabalho, que foram obtidas ao longo do seu desenvolvimento, quer nas componentes teóricas e de pesquisa, quer na componente de aplicação prática, no estudo do edifício. São também abordados os principais objetivos atingidos, bem como as condicionantes e limitações sentidas no seu desenvolvimento. Por forma a dar continuidade ao trabalho já desenvolvido, serão apresentadas em **9.3** propostas de desenvolvimento futuro.

### 9.1. Conclusões

Este trabalho foi desenvolvido em duas fases individuais que se complementaram entre si, e que permitiram o sucesso de ambas. Numa primeira fase foi feito um levantamento do estado da arte, em que foram estudadas as principais características da madeira, os agentes bióticos e abióticos a que esta possa estar suscetível, bem como as técnicas de ensaio e diagnóstico que permitem aferir sobre a qualidade da madeira. Esta fase permitiu encontrar fundamentos teóricos sólidos para se proceder à inspeção da edificação em estudo, caracterizá-la, e avaliá-la, tendo em conta as normas aplicadas à atividade. As referências normativas nacionais e internacionais foram uma base fundamental na execução deste trabalho, pois permitiram a delimitação de objetivos da avaliação, bem como a definição dos critérios de medição a seguir.

Ao longo do desenvolvimento do trabalho prático, foram seguidos os fundamentos da inspeção visual, que permitiram identificar as principais anomalias decorrentes da estrutura intrínseca da madeira, como os nós, e as decorrentes da degradação biológica, que neste caso específico foram a presença de caruncho pequeno e grande. Foi feita uma caracterização geométrica de todos os elementos constituintes da estrutura, e caracterizada a envolvente, do edifício, dos seus usos e modificações anteriores. De seguida, foi feita a caracterização dos elementos, e identificados os parâmetros intrínsecos da madeira como os nós, a inclinação do fio da madeira e a taxa de crescimento. A avaliação destes parâmetros seguiu os predispostos na norma nacional NP 4305:1995, que por sua vez segue os requisitos da norma europeia relativa aos parâmetros de medição EN 1310:1997. Foram feitas medições no local, que foram posteriormente arquivadas nas fichas de inspeção visual elaboradas para cada um dos elementos. Neste trabalho, foi seguida a metodologia defendida por Machado *et al.* (2009, a), que se aplica a estruturas de madeira em serviço de forma mais adequada, pois tem em conta as especificidades de uma estrutura antiga, não aplicando a norma de forma tão conservativa, levando em consideração, os parâmetros que poderão comprometer a segurança efetiva da estrutura, visto que esta já se encontra edificada. Foi assim possível entender a diferença entre anomalias que poderão por em causa a continuidade da estrutura, e anomalias que fazem sentido ser avaliadas em estruturas novas, pois poderão por em causa a aplicação da madeira em obra, adaptando assim a única norma nacional, definida para madeira nova, a casos de estruturas antigas. Na avaliação destes parâmetros, a avaliação da taxa de crescimento não foi realizada na

totalidade dos elementos, pois como já mencionado no **capítulo 7**, os topos das vigas não se encontravam visíveis e acessíveis na sua totalidade, sendo só possível a medição nos elementos em que foi identificada a presença de medula.

Após a classificação visual dos elementos de madeira em serviço através da norma NP 4305:1995, que dividiu a avaliação da classe de qualidade dos elementos da estrutura entre classe E (estruturas) e classe EE (especial estruturas), foi efetuada, pela norma NP EN 1912:2013, a atribuição de classes de resistência determinadas na EN 338:2009, que no caso específico do pinho bravo, espécie presente na estrutura, se divide em classe de resistência C18 e C35. Com a atribuição destas classes, foi possível a determinação dos valores característicos da classe da madeira, que por sua vez foram utilizados no cálculo estrutural.

A nível dos resultados obtidos, a madeira não degradada, a que estava degradada por caruncho pequeno ou a secção residual das peças degradadas por caruncho grande, foi classificada com a seguinte distribuição- **Quadro 9.1 e 9.2**:

- 7 Vigas de classe E;
- 18 Vigas de classe EE.

Alerta-se para o facto de esta distribuição ser reflexo direto da metodologia adotada neste trabalho, pois a aplicação completa da norma resultaria em elementos sem classificação estrutural, devido à presença de degradação biológica. Esta simplificação atenta apenas na secção residual decorrente do ataque biológico, e respetiva atividade.

Salienta-se a necessidade de elaboração de uma norma nacional que tenha em conta não só a realidade construtiva do país, os métodos construtivos em madeira, e espécies mais utilizadas, como também as dificuldades acrescidas de avaliação de elementos de madeira que já se encontram inseridos numa estrutura, e que ofereça soluções alternativas que permitam superar as dificuldades encontradas.

Na inspeção dos elementos foi detetada, como já mencionado, a presença de degradação biológica, não ativa, na maioria dos elementos. Enquanto a degradação biológica provocada por caruncho pequeno, verificada nos elementos localizados no extremo da estrutura, não resultam em perda de secção significativa do elemento, a degradação biológica provocada pelo caruncho grande produziu na estrutura danos mais relevantes, com perdas de secção muito significativas. Foi verificada a seguinte distribuição de perdas de secção- **Quadro 9.1 e 9.2**:

- 4 Elementos registam perdas de secção significativas (viga central avaliada no conjunto);
- 3 vigas não são aproveitáveis
- Os restantes elementos não registam perdas de secção significativas.

As restantes técnicas de diagnóstico e ensaio permitiram complementar a informação obtida, caso do uso dos humidímetros que permitiram aferir o teor em água dos elementos, e concluir

que não existem problemas de infiltrações que poderiam levar ao desenvolvimento de degradação biológica, na forma de podridão, pois a madeira apresenta valores próximos dos 12%, o que implica madeira seca. Os outros dois aparelhos utilizados, o *Pilodyn*® e o Resistógrafo, permitiram medir a resistência da madeira à perfuração por impacto e controlada, que desta forma, possibilitaram o entendimento sobre o estado da madeira, tanto em elementos sãos como em elementos degradados. Através dos estudos realizados por Henriques (2011), foi possível utilizar a correlação definida por este autor, entre os resultados do ensaio com o *Pilodyn*® e a massa volúmica da madeira em estudo, tendo-se obtido um valor de 567,9 Kg/m<sup>3</sup> de massa volúmica, superior aos estipulados na norma. Seria importante aprofundar mais as relações que podem ser atribuídas entre os valores obtidos pelos aparelhos, os parâmetros característicos da madeira e os resultados da inspeção visual, para que desta forma se pudesse completar mais a informação passível de ser recolhida para os elementos de madeira.

O uso do *Pilodyn*® e principalmente do Resistógrafo foi especialmente benéfico, pois permitiu, nos casos em que se levantaram algumas reticências relativamente à secção residual, entender até que ponto a secção residual é composta por madeira sã, e não por madeira degradada mas ainda aparentemente coesa. Através da inspeção visual é impossível aferir com certezas este parâmetro pois a avaliação realiza-se pelo exterior das peças, não se podendo fazer determinações sobre o estado interno da peça. Esta situação alerta para a necessidade de complementaridade entre técnicas, para que se possa minimizar os pontos cegos da inspeção, maximizando os resultados e informação obtida. No caso em estudo, nas vigas 6 e 7 Esquerda, pela inspeção visual foi determinada uma perda de secção e consequente secção residual, que se esperava ser de madeira sã, e por isso permitiria a aplicação do cálculo estrutural às vigas em questão. Esta situação não se verificou com o ensaio com o Resistógrafo, em que se concluiu que a madeira remanescente apresentava uma perda de secção para além do avaliado inicialmente, com toda a extensão da estrutura a apresentar baixa ou quase nula resistência à perfuração, sendo a secção em causa suficiente apenas para manter a viga na posição inicial.

No cálculo estrutural, foram avaliados dois estados limites últimos, flexão simples e corte, e um estado limite de utilização, a deformação. Foram estudadas duas hipóteses de carregamento, em que se considerou que a estrutura mantém o carácter apenas de suporte, não sendo acessível, e na outra hipótese considerou-se que a estrutura iria servir de apoio, não só ao teto falso da divisão abaixo, como também de suporte ao piso, e respetivas sobrecargas de outra divisão. Foi admitido um modelo simplificado de cargas, com vigas simplesmente apoiadas com cargas uniformemente distribuídas. Verificou-se como o estado mais gravoso, a verificação da segurança à deformação, em que se registou a não verificação da segurança para várias vigas, nomeadamente e principalmente, as que registam uma perda de secção mais significativa.

A nível dos resultados obtidos, para a hipótese de não existência de sobrecarga, ou seja, continuidade do uso da estrutura da forma atual, todos os elementos verificam os diferentes estados limite. No caso da hipótese de existência de sobrecarga, (com os valores da massa

volúmica da norma ou da correlação com o *Pilodyn*®) ou seja, modificação das condições de carregamento atuais, obteve-se os seguintes resultados-**Quadro 9.1 e 9.2:**

- 9 Vigas não verificam o estado limite de utilização de deformação;
- Os restantes elementos verificam a segurança a todos os estados limite;

Importa referir que este trabalho tem um registo meramente académico, e que tinha como principal objetivo o estudo da classificação visual de madeira em serviço, um método de inspeção minimamente intrusivo, sendo necessária a confirmação de todos os resultados obtidos, com recurso, nomeadamente a ensaios destrutivos, não abordados neste trabalho, por motivos óbvios de não adaptação ao objetivo deste trabalho. No entanto, alerta para a importância da inspeção visual, que quando realizada por técnicos com conhecimentos bem fundamentados na área, permite ser mais uma ferramenta na avaliação de uma estrutura, contribuindo para um maior conhecimento da estrutura, e consequentemente permite criar um leque de alternativas às soluções tradicionais de reabilitação, que passam muitas vezes pela substituição completa de peças. Conclui-se ainda que o setor necessita de uma norma com as especificidades já referidas acima, e que deve seguir o exemplo de países como a Itália, que com a norma UNI 11119:2004 apresenta forma de avaliar *in situ* uma estrutura de madeira em serviço.

Viga	Classe de Qualidade	Classe de Resistência	Degradação Biológica	Perda de secção	ρ normalizado c/ sobrecarga			ρ normalizado s/ sobrecarga			ρ experimental c/ sobrecarga			ρ experimental s/ sobrecarga			
					Deformação	Flexão	Corte	Deformação	Flexão	Corte	Deformação	Flexão	Corte	Deformação	Flexão	Corte	
1E	EE	C35	C.Pequeno	-	Não Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Não Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
2E	EE	C35	C.Pequeno	-	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
3E	EE	C35	-	-	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
4E	E	C18	C.Grande	27,51%	Não Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Não Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
5E	EE	C35	C.Grande	4,57%	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
6E	Classe não atribuída				Não verificável												
7E	Classe não atribuída				Não verificável												
8E	EE	C35	-	-	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
9E	E	C18	-	-	Não Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Não Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
10E	EE	C35	C.Pequeno	-	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Não Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
11E	EE	C35	C.Pequeno	-	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
12E	E	C18	C.Pequeno	-	Não Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Não Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
13E	EE	C35	C.Pequeno	-	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica

Quadro 9.1- Resultados finais da avaliação da estrutura

Viga	Classe de Qualidade	Classe de Resistência	Degradação Biológica	Perda de seção	ρ normalizado ε/ sobrecarga			ρ experimental ε/ sobrecarga			ρ experimental s/ sobrecarga			
					Deformação	Flexão	Corte	Deformação	Flexão	Corte	Deformação	Flexão	Corte	
1D	EE	C35	C.Pequeno	-	Não Verifica	Verifica	Verifica	Não Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
2D	E	C18	C.Pequeno	-	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
3D	EE	C35	-	-	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
4D	Classe não atribuída				Não verificável									
5D	EE	C35	-	-	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
6D	E	C18	-	-	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
7D	EE	C35	C.Pequeno	-	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
8D	E	C18	C.Grande	38,64%	Não Verifica	Verifica	Verifica	Não Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
9D	EE	C35	-	-	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
10D	EE	C35	C.Pequeno	-	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
11D	EE	C35	C.Pequeno	-	Não Verifica	Verifica	Verifica	Não Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
12D	EE	C35	C.Pequeno	-	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
13D	E	C35	C.Pequeno	-	Não Verifica	Verifica	Verifica	Não Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica	Verifica
CS	EE	C35	C.Grande	35,81%	Verifica			Verifica			Verifica			
CI	EE	C35	C.Grande	7,442	Verifica			Verifica			Verifica			

Quadro 9.2- Resultados finais da avaliação da estrutura (continuação)

## 9.2. Objetivos atingidos e condicionantes

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho foram atingidos os seguintes objetivos:

- Conhecimento das características dos dois grupos de espécies de madeira (Gimnospérmicas e Angiospérmicas), as principais vantagens e desvantagens da madeira como material de construção, características físicas e químicas, bem como as principais propriedades físicas e mecânicas da madeira;
- Identificação dos principais defeitos e singularidades da madeira, e respetiva influência na qualidade da madeira;
- Identificação dos principais agentes bióticos e abióticos, como se apresentam na madeira, quais os fatores que levam ao desenvolvimento das anomalias e quais as consequências na qualidade da madeira;
- Identificação das principais técnicas de ensaio e diagnóstico, abordado os métodos tradicionais e não tradicionais, conhecendo os princípios que permitem o seu uso, as boas práticas de utilização dos mesmos, e as principais informações passíveis de serem recolhidas ao longo da sua utilização e posterior tratamento de dados;
- Levantamento das principais normas nacionais e europeias, no âmbito da classificação da madeira, em termos de classe de qualidade, classe de resistência, atribuição de classe de qualidade a classe de resistência, normas de ensaio, normas de medição de parâmetros, classe de risco biológico, classe de durabilidade natural, atribuição de classe de durabilidade natural a classe de risco biológico, entre outras. Avaliação da sua aplicabilidade no âmbito nacional, identificação de condicionantes e comparação das normas nacionais a outras normas de países europeus;
- Aplicação de conhecimentos e normas de classificação a um caso de estudo, desenvolvimento de técnicas de inspeção e diagnóstico, como a inspeção visual, *Pilodyn*®, Resistógrafo e Humidímetro;
- Atribuição de classes de qualidade e de resistência aos elementos em estudo, e respetivos valores característicos. Desenvolvimento da metodologia de cálculo presente na EN 1995:2004 (Eurocódigo 5), para verificação da segurança aos Estados Limite Últimos de Flexão simples e Corte, e ao Estado Limite de Utilização de Deformação.

Apesar dos objetivos atingidos, ao longo deste trabalho existiram várias condicionantes, entre as quais:

- Inexperiência na utilização dos aparelhos, número de ensaios por vezes insuficiente, sendo necessários mais ensaios para confirmação dos resultados;
- Inacessibilidade a determinadas partes da estrutura, nomeadamente os topos das peças, o que condicionou a determinação da taxa de crescimento na maioria dos elementos;
- Más condições de limpeza e inspeção da área e dos elementos;
- Impossibilidade de se saber o estado interno da peça apenas pela inspeção visual;

- Verificação estrutural da estrutura apenas a dois Estados Limite Últimos, e a um Estado Limite de Utilização.

### **9.3. Propostas de desenvolvimento futuro**

Tendo em conta os resultados obtidos, e as condicionantes observadas ao longo deste trabalho, sugerem-se as seguintes propostas de desenvolvimento, que poderão dar continuidade ao trabalho desenvolvido:

- Realização de técnicas, ensaios destrutivos e ensaios em laboratório, que permitam corroborar as conclusões obtidas neste trabalho;
- Verificar a aplicabilidade da correlação estabelecida por Henriques (2011) para o ensaio com o Resistógrafo, tendo em conta a mudança de modelo do aparelho em uso;
- Correlacionar os resultados obtidos pela classificação visual com resultados obtidos pelos ensaios em amostras dos elementos, nomeadamente os valores característicos atribuídos pela EN 338:2009;
- Desenvolvimento de técnicas de medição de parâmetros da madeira, que permitam ultrapassar as condicionantes impostas pela localização de elementos;
- Desenvolvimento de uma norma nacional para classificação visual de madeira em serviço.

## **Referências**

### **Referências bibliográficas**

ALMEIDA, Elson – Materiais de construção: Laboratório NP 616 Madeira: Determinação da massa volúmica. Faro: Universidade do Algarve. 2006;

ANDRADE, Ana; ALVES, A. – Dendrocronologia. Ficha 56. Lisboa: Sociedade portuguesa para o desenvolvimento, educação e turismo ambiental (SETA). 2013;

APPLETON, João – Reabilitação e reforço de estruturas de madeira. Lisboa: Instituto Superior Técnico (IST), 2010;

APPLETON, João – A sustentabilidade nos projetos de reabilitação de edifícios. Encontro nacional de Engenharia Civil (ENEC 2011). Lisboa. 2011;

BENEIOIT, Yves – Le guide des essences du Bois. CTBA. Éditions Eyrolles. Paris. 1997;

BRANCO, Jorge; SANTOS, Ana; CRUZ, Paulo – Asnas Tradicionais de Madeira: Evolução, comportamento e reforço com materiais compósitos. Revista portuguesa de Engenharia de estruturas. 2010;

BRANCO, Jorge, LOURENÇO, Paulo – Coberturas tradicionais de madeira. Caracterização, Inspeção e Classificação. Guimarães: ISISE, Departamento de Engenharia civil, Universidade do Minho (UM). 2014;

BRANCO, Jorge, SOUSA, Hélder – Métodos de Inspeção e Classificação visual de elementos de madeira – Manual de curso. Guimarães: Universidade do Minho (Escola de Engenharia), 2014;

BRITES, Ricardo - Avaliação de Segurança das Estruturas Antigas de Madeira. Guimarães: Tese apresentada à Universidade do Minho, Escola de Engenharia (UM) para a obtenção do grau de Doutor, 2011;

CÂNDIDO, Ana - Diagnóstico de estruturas de madeira em serviço num palacete do século XIX. Lisboa. Tese apresentada ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) para obtenção do grau de Mestre, 2013;

CARVALHO, Albino de – Madeiras portuguesas: Estrutura Anatómica, Propriedades, Utilizações. Vol. I e II. Direção Geral de Florestas, 1996;

CASTILHO, António, GONÇALVES, Júlia, OLIVEIRA, Lara, MAGALHÃES, Mariana, FREITAS, Maria, TELES, Pedro – Reabilitação de edifícios: As patologias mais frequentes e as

técnicas de reabilitação. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2009;

INE, 2011 – Disponível em:

[http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine\\_censos\\_publicacao\\_det&contexto=pu&PUBLICACOESpub\\_boui=73212469&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1&pcensos=61969554](http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_publicacao_det&contexto=pu&PUBLICACOESpub_boui=73212469&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1&pcensos=61969554)

CÓIAS, Victor – Metodologias e Tecnologias de Intervenção. A Importância da Qualificação dos Agentes. Seminário A qualidade nas intervenções de conservação, reabilitação e valorização das casas antigas. Lisboa. GeCorpa e Associação Portuguesa das Casas antigas. 2009;

CÓIAS, Vítor – Diagnóstico e Intervenção na Reabilitação de Edifícios. *Reabilitação do Edifício Urbano – Uma nova forma de pensar a cidade*. Lisboa: Ordem dos Arquitectos - Região Sul. 2010;

CÓIAS, Vítor, MATEUS, Luís – Reabilitação amiga do Património. Seminário Cuidar das casas. A Manutenção do Património corrente. Porto. Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto (FAUP).2011;

CÓIAS, Vítor – Reabilitação Urbana. Lisboa: Observatório do Emprego e Formação Profissional e GeCorpa, 2011;

COLLAR, Jorge; PRIETO, Eva; BARRA, Rafael- Ensayos no destructivos sobre madera estructural. Una revisión de 30 años en España. Costa Rica: Kúru: Revista Forestal. 2009;

CORMA, Corporacion chilena de la madera - Manual - La construcción de viviendas en madera. Chile, s.d;

COSTA, F. Pereira – Enciclopédia prática da Construção civil. Volume 7. Pavimentos de Madeira. Lisboa. 1971;

COSTA, António – Intervenção a nível estrutural nos elementos interiores de madeira de um edifício antigo. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). 2013. Tese de Mestrado;

COUTINHO, Joana – Sebenta de Materiais de construção 1 – Madeiras. Porto: Faculdade de engenharia da Universidade do Porto. 1999;

CRUZ, Helena – Patologias, avaliação e conservação de estruturas de madeira. II Curso Livre Internacional de Património. Associação Portuguesa dos Municípios com centro histórico. Fórum UNESCO Portugal. Lisboa: LNEC, 2004 ;

CRUZ; Helena; MACHADO, José; NUNES, Lina – Mitos e factos relacionados com o desempenho de elementos de madeira em edifícios. *3º Encore- Encontro sobre Materiais e técnicas de conservação e reabilitação*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 2004;

CRUZ, Helena; NUNES, Lina – A madeira como material de construção. Lisboa: LNEC, 2008;

CRUZ, Helena; MACHADO, José; PALMA, Pedro –What one needs to know for the assessment of timber structures. Lisboa: Laboratório nacional de Engenharia Civil (LNEC) 2008;

CRUZ, Helena; YEOMANS, David; TSAKANIKI, Elefhertia; MACCHIONI, Nicola; JORISSEN, Andre, TOUZE, Manuel, MANNUCCI Massimo, LOURENÇO, Paulo – Guidelines for On-Site Assessment of Historic Timber Structures, *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration*. 2015. 9:3,277-289, DOI: [10.1080/15583058.2013.774070](https://doi.org/10.1080/15583058.2013.774070)

CRUZ, Helena – Inspeção, avaliação e conservação de estruturas de madeira [Em linha] 1ª Jornada de Materiais de Construção.2011;

CRUZ, Helena – Reabilitação de estruturas em Madeira. Caracterização de estrutura em Madeira. Processos de deterioração da madeira. Lisboa: Appleton Square. 2012;

CRUZ, Helena – Patologia, inspeção e reabilitação de estruturas em Madeira. Lisboa: Laboratório nacional de Engenharia Civil (LNEC). FUNDEC- Introdução à reabilitação de edifícios antigos. 2013;

CUNHA, João – Diagnóstico e avaliação da segurança de estruturas de madeira existentes. Porto. Tese apresentada ao Instituto superior de engenharia do Porto (ISEP) para obtenção do grau de Mestre. 2013;

DIAS, Tiago – Pavimentos de madeira em edifícios antigos. Diagnóstico e intervenção estrutural. Porto. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) para obtenção do grau de Mestre. 2008;

FARIA, José. – Reabilitação de Estruturas de Madeira – Palestra proferida nas 2as Jornadas de Engenharia Civil do Instituto Politécnico da Guarda – 12 e 13 de Maio de 2004;

FARIA, José. – Reabilitação de estruturas de madeira em Edifícios Históricos. In *Património. Estudos*, nº 3, 2002, IPPAR, ISSN 1645-2453, pp 8-13;

FARIA, José. - Calcular Estruturas de madeira é fácil! In *Construção Magazine*. Nº 20, 2º Trimestre 2007, Publindústria, Lda., Porto. ISSN 1645-1767, pp 8-20;

FARIA, José – As estruturas de madeira e a reabilitação de edifícios antigos. Princípios fundamentais de projeto. In Construção Magazine. Nº 67. Maio/Junho 2015, Publindústria, Lda., Porto. ISSN 1645-1767, pp 48;

FARINHA, Manuel; REIS, A. Correia – Tabelas técnicas. Edição P.O.B. 1992;

FARINHA, Manuel – Estruturas em madeira. Unidade curricular de Reabilitação de edifícios e monumentos. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), 2014;

FEIO, António; LOURENÇO, Paulo – Possibilidades e aplicações de ensaios não destrutivos”, Encontro sobre a madeira e suas aplicações nobres - Bem utilizar a madeira; Universidade do Minho, INETI, 2005;

FERREIRA, Sílvia – A talha barroca de Lisboa (1670-1720). Os artistas e as Obras. Volume 1. Lisboa. Tese apresentada à Universidade de Lisboa. Faculdade de Letras. Departamento de História para obtenção do grau de Doutor. 2009;

FRANCO, Sónia – Proposta de Atribuição de Propriedades Mecânicas a elementos estruturais de Madeira por inspeção visual *in situ*. Porto. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) para obtenção do grau de Mestre. 2008;

GEONATURA- Resistógrafo IML Resi, serie 4. Espanha;

HANSEN, Christian Pilegaard – Application of the Pilodyn in forest tree improvement. University of Copenhagen. Danida Forest Seed Centre. 2002;

HENRIQUES, Dulce – A madeira e seus derivados. Sebenta de apoio à disciplina de Materiais de Construção II. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), 2005;

HENRIQUES, M. Dulce – Tratamento e consolidação de madeira de pinho degradada em elementos estruturais de edifícios antigos. Lisboa: Instituto Superior Técnico (IST), 2011. Tese de doutoramento;

HENRIQUES, Dulce – Aula 2 Madeiras. Bases de cálculo de estruturas em Madeira. Pós graduação em Conservação e Reabilitação de Construções. Lisboa, Instituto superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) 2014, a;

HENRIQUES, Dulce – Aula 3 Madeiras. Patologias, diagnóstico e medidas de prevenção. Pós graduação em Conservação e Reabilitação de Construções. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL). 2014, b;

HENRIQUES, Dulce – Aula 4 Madeiras. Avaliação e classificação da madeira em serviço. Pós graduação em Conservação e Reabilitação de Construções. Lisboa, Instituto superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) 2014, c;

JÚNIOR, Jerónimo – Avaliação não destrutiva da capacidade resistente de estruturas de madeira de edifícios antigos. Porto. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) para obtenção do grau de Mestre. 2006;

KLOCK, Umberto, MUÑIZ, Graciela, HERNANDEZ, José, ANDRADE, Alan – Química da Madeira. 3º Edição revista. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 2005;

LNEC - Especificações E326:1979, Edifícios. Recomendações para a elaboração de especificações de comportamento, Lisboa, 1979;

LNEC – Ficha M1: Especificação de madeiras para estruturas. Série Madeira para construção, Lisboa, 1997, a;

LNEC – Ficha M2: Pinho bravo para estruturas. Série Madeira para construção, Lisboa, 1997, b;

LNEC – Ficha M9 – Humidade na Madeira. Série Madeira para construção, Lisboa 1997, c;

Lopes, Miguel- Tipificação de Soluções de Reabilitação de Estruturas de Madeira em Coberturas de Edifícios Antigos. Porto. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia da Faculdade do Porto (FEUP) para obtenção do grau de Mestre. 2007;

LOUZADA, J.L.;GASPAR, M.J; BENTO, E.M- Uso do Pilodyn para a estimativa da densidade da madeira de *Eucalyptus nitens*. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2005;

MACCHIONI, Nicola, BERTOLINI, Clara, TANNERT, Thomas – Review of Codes and Standards. *In Situ Assessment of Structural Timber 2010* Chapter 13 pp. 115-121 ISBN 978-94-007-0559-3;

MACHADO, José – Conhecer a madeira como base de suporte a ações de reabilitação. Seminário: Intervir em construções existentes de madeira. Guimarães: Universidade do Minho. Escola de Engenharia (UM). 2014, pp. 23-36;

MACHADO, José, DIAS, Alfredo, CRUZ, Helena, CUSTÓDIO, José, PALMA, Pedro – Avaliação, Conservação e Reforço de Estruturas de Suporte de Madeira, Lisboa, 2009, a

MACHADO, José; PALMA, Pedro; SIMÕES, Sofia – Ultrasonic indirect method for evaluating clear wood strength and stiffness. *Non-Destructive Testing in Civil Engineering*. France, 2009 b;

MACHADO, José; LOURENÇO, Paulo; PALMA, Pedro - *Assessment of the structural properties of timber members in situ – a probabilistic approach*. Lisboa: SHATIS'11 International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures. 2011;

MAIA, João – Inspeções e Diagnóstico – tecnologias para a manutenção e reabilitação de estruturas. Encontro 20 anos Engenharia Civil 1986-2006. Instituto de soldadura e qualidade (ISQ) Núcleo de Pontes, Geotecnia e reabilitação estrutural Direção de Construção civil. 2007;

MARQUES, Luís – O papel da madeira na sustentabilidade da construção. Porto. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) para obtenção do grau de Mestre. 2008;

MARTINS, Sérgio - Estruturas de madeira – inspeção e diagnóstico: aplicação em caso de estudo. Guimarães. Tese apresentada à Universidade do Minho, Escola de Engenharia (UM) para obtenção do grau de Mestre, 2009;

MENDES, Sandra – Degradação da madeira por caruncho em edifícios antigos. Uma análise experimental. Lisboa. Tese apresentada ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) para obtenção do grau de Mestre. 2013;

MENDONÇA, Luís; AMARAL, Miguel, CATARINO, Pedro – A termografia por infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspeção e manutenção dos edifícios. Spybuilding. 2005;

MENDONÇA, Luís – Termografia por infravermelhos. Aplicações em Edifícios. Spybuilding. 2005;

MESQUITA, Carlos – Segurança sísmica das construções: Informação de suporte com recurso a ensaios não destrutivos *in situ*, Seminário de reabilitação sísmica de edifícios, Ordem dos Engenheiros. Lisboa, 2011;

MILLER, R. B- *Wood handbook - Wood as an engineering material*. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory. 2010;

MONTÓN, Joaquín; ARRIAGA, Francisco; AVELLANEDA; Jaume; GONZÁLEZ, Guillermo; FARRÀS, Jordi; PLENSA; Rubén – Classificación visual estructural de la madera de pino radiata procedente de Cataluña- CIMAD 11 – 1º Congresso Ibero Latino Americano da Madeira na Construção, 7-9/06/2011, Coimbra;

NATIONAL VET CONTENT- Timber plus Toolbox. 2014 Disponível em <https://nationalvetcontent.edu.au>, acessado em Maio 2015;

NEVES, André – Avaliação, Tratamento e Consolidação de Madeira em edifícios antigos. Lisboa. Tese apresentada ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) para obtenção do grau de Mestre, 2013;

NUNES, Lina.; Nobre, Tânia; Machado, José. “ Degradação e reabilitação de estruturas de madeira. Importância da ação das térmitas subterrâneas”. REPAR 2000: Encontro Nacional sobre conservação e reabilitação de estruturas, LNEC, Lisboa. 2000, pp.167-175;

NUNES, Lina - Bases para a monitorização do risco de degradação na construção de casas de madeira. – Seminário Casas de madeira. Lisboa: Laboratório nacional de Engenharia Civil. 2013;

Observação boroscópica de cavidade e fendas – Oz: Diagnóstico, levantamento e controlo de qualidade em estruturas e fundações, Lda;

PALAIÁ, Liliana – Structural Failure Analysis of timber Floors and Roofs in Ancient Buildings at Valencia (Spain). ICOMOS IWC - XVI International Symposium. Florence: Polytechnic University At Valencia: Icomos Spanish National Committee, 2007;

PALAIÁ, Liliana; MONFORT, José; SÁNCHEZ, Rafael; GIL, Luisa; ÁLVAREZ, Ángeles; LÓPEZA, Vicente; TORMO, Santiago – Assessment of timber structures in service, by using combined methods of non-destructive testing together with traditional ones. *Ninth International Conference on NDT of Art*. Jerusalém, 2008;

PEREIRA, Maria – Reabilitação de tetos estucados antigos. Porto. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia da Faculdade do Porto (FEUP) para obtenção do grau de Mestre. 2010;

PEREIRA, Samuel – Avaliação Experimental das Principais Propriedades Mecânicas de Peças estruturais em madeira antiga. Porto. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) para obtenção do grau de Mestre, 2009;

PROCEQ – Pilodyn- Model 6J User Manual, Proceq SA, Schwerzennbach, Switzerland. 2003;

RINN, F.; SCHWEINGRUBER, F, & SCHÂR, E- Resistograph and X-ray density charts of wood. Comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species. *International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood*, 50(4), pp.303-311. 1996;

ROSA, André – Caracterização do comportamento das ligações coladas em estruturas de madeira – Estudo da influência da temperatura. Lisboa. Tese apresentada à Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico (IST) para obtenção do grau de Mestre. 2008;

SANTOS, Hugo – Validação da Segurança estrutural de pavimentos existentes em Madeira. Porto. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) para obtenção do grau de Mestre. 2009;

SANTOS, João – Estudo de modelos e caracterização do comportamento mecânico da madeira. Guimarães. Tese apresentada à Universidade do Minho (UM) para obtenção do grau de Doutor. 2007;

SANTOS, José; DUARTE, Carlota; SANTOS, Joana; PESTANA, João – Bem utilizar madeiras portuguesas na construção/ reabilitação - CIMAD 11 – 1º Congresso Ibero Latino Americano da Madeira na Construção, 7-9/06/2011, Coimbra;

SILVA, João – Especificações de tratamentos de preservação para elementos de madeira. Porto. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) para obtenção do grau de Mestre, 2008;

SIMÕES, J.M. dos Santos – Ermida da Ascensão (Paulistas). Ficha de Inventário da Azulejaria. Lisboa. 1945;

Sistema de informação para o património arquitetónico. IPA 00022941 Disponível em: [http://www.monumentos.pt/Site/APP\\_PagesUser/SIPA.aspx?id=22941](http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=22941) acedido Julho de 2015;

SOUSA, H.S., BRANCO J.M., LOURENÇO, P.B. (2014). “Da inspeção à avaliação de segurança na reabilitação de estruturas de madeira”, Seminário: “Intervir em construções existentes de madeira”, Guimarães, Portugal, 5 Junho 2014, pp. 57-70. ISBN: 978-972-8692-86-5;

TERRAGES- Novas tecnologias para a Gestão Agro- Florestal e Ambiente, Lda – PILODYN para avaliação de madeira *in situ*;

ZOMBORI, Balazs – *In situ* Nondestructive Testing of Built in Wooden Members, *NDT.net*, Volume 6, N.º 3. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2001.

### **Referências normativas**

DIN 4074:2003 – Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit. , Alemanha: DIN2003;

EN 338:2009 – Structural timber; Strength classes, Bruxelas: CEN, 2009;

EN 351-1:2007 – Durability of wood and wood-based products; Preservative-treated solid wood; Part 1: Classification of preservative penetration and retention, Bruxelas: CEN, 2007;

EN 351-2:2007- Durability of wood and wood-based products. Preservative-treated solid wood. Part 2: Guidance on sampling for the analysis of preservative-treated wood, Bruxelas: CEN, 2007;

EN 384:2010- Structural timber – Determination of characteristic values of mechanical properties and density, Bruxelas: CEN, 2004;

EN 1310:1997 – Round and sawn timber – Method of measurement of features, Bruxelas: CEN, 1997;

EN 1995:2004 -.*Design of Timber Structures* – Eurocódigo 5, Bruxelas: CEN, 2004;

EN 14081-1:2005– Timber structures. Strength graded structural timber with rectangular cross section. Part 1: General requirements, Bruxelas: CEN, 2005;

EN 14081-2:2010- Timber structures. Strength graded structural timber with rectangular cross section; Part 2: Machine grading: additional requirements for initial type testing, Bruxelas: CEN, 2010;

EN 14081-3:2012 - Timber Structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 3 - Machine grading: additional requirements for factory production control, Bruxelas: CEN, 2012;

EN 14081-4:2009 - Timber Structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 4 - Machine grading – grading machine settings for machine-controlled systems, Bruxelas: CEN, 2009;

Decreto-Lei 160/2012 de 8 de Novembro, Lisboa, 2012;

Decreto-lei n.º 307/2009, no Regime Jurídico de Reabilitação Urbana, Lisboa, 2009;

NP 180:1962- Anomalias e defeitos da madeira, Lisboa, 1962;

EN 335-1:2013- Durability of wood and wood-based products. Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products. Part 1. Bruxelas: CEN, 2013;

EN 335-2:2013- Durability of wood and wood-based products. Use classes. Definitions application to solid wood and wood-based products. Part 2. Bruxelas: CEN, 2013;

NP EN 350-1:2008 Durabilidade da madeira e de produtos derivados; Durabilidade natural da madeira; Parte 1: Guia dos princípios de ensaio e classificação da durabilidade natural da madeira, Lisboa: IPQ, 2008;

NP EN 350-2:2008 Durabilidade da madeira e de produtos derivados; Durabilidade natural da madeira; Parte 2: Aplicação à madeira maciça, Lisboa: IPQ, 2008;

NP 460:1995 – Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Durabilidade natural da madeira maciça. Guia de exigências de durabilidade das madeiras na sua utilização segundo as classes de risco, Lisboa: IPQ, 1995;

NP 616:1973 – Madeiras. Determinação da massa volúmica, Lisboa,1973;

NP EN 1990:2009 – Bases para o projeto de estruturas – Eurocódigo 0, Lisboa: IPQ, 2009;

NP EN 1991-1-1:2009 - Ações em estruturas – Eurocódigo 1.Parte 1-1: Ações gerais. Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios, Lisboa: IPQ, 2009;

NP 1912:2013- Madeira para estruturas. Classes de resistência. Atribuição de classes de qualidade e espécies, Lisboa: IPQ, 2013;

NP 4305:1995- Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas. Classificação visual, Lisboa: IPQ, 1995;

UNE 56544: 2011- Clasificación visual de la madera serrada para uso estructural. Madera de coníferas, Madrid: AENOR, 2011;

UNI 11035-1:2010 - Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica - Parte 1: Terminologia e misurazione delle caratteristiche, Roma: Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2010

UNI 11035-2:2010- Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica - Parte 2: Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza meccanica e valori caratteristici per tipi di legname strutturale. Roma: Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2010;

UNI 11035-3:2010- Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica - Parte 3: Travi Uso Fiume e Uso Trieste Roma: Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2010;

UNI 11119:2004- Beni culturali- Manufatti lignei- Strutture portanti degli edifici- Ispezione *in situ* per la diagnosi degli elementi in opera. Roma: Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2004.

# **Anexos**



## Capítulo 6. Apresentação do caso de estudo e metodologia aplicada

### 6.A .Resultados obtidos com o *Pilodyn*®

Vigas						
Elemento	Nº Ensaio Resistográfico	Ensaio com Pilodyn				
		Número do ensaio	Estado da viga	Medida (mm)	Valor médio	Valor médio total
3D		1	Viga sã	20	18±2,5	18±2,5
		2		22		
		3		20		
		4		18		
		5		20		
		6		16		
		7		14		
		8		18		
		9		14		
		10		18		
4E		1	Zona degradada	24	21,4±2,0	19,2±1,2
		2		20		
		3		19		
		4		19		
		5		22		
		6		24		
		7		20		
		8		24		
		9		22		
		10		20		
		11	Zona sem degradação visível	16	17±0,9	
		12		18		
		13		17		
		14		18		
		15		16		
6E		1	Viga totalmente degradada	28	35,9±4,2	35,9±4,2
		2		26		
		3		32		
		4		34		
		5		38		
		6		34		
		7		40		
		8		40		
		9		40		
		10		38		
		11		36		
		12		36		
		13		38		
		14		38		
		15		40		

<b>7E</b>		1	Viga degradada	22	26,2±2,8	26,2±2,8
		2		26		
		3		26		
		4		22		
		5		24		
		6		24		
		7		29		
		8		31		
		9		30		
		10		30		
		11		25		
		12		25		
		13		26		
		14		29		
		15		24		
<b>7D</b>		1	Viga sã	11	12,9±1,5	12,9±1,5
		2		14		
		3		10		
		4		12		
		5		14		
		6		14		
		7		15		
		8		12		
		9		13		
		10		14		
<b>8E</b>		1	Viga sã	15	13,4±2,7	13,4±2,7
		2		11		
		3		11		
		4		12		
		5		18		
		6		12		
		7		11		
		8		15		
		9		18		
		10		11		
<b>8D</b>		1	Viga com degradação localizada	15	20,1±3,6	20,1±3,6
		2		18		
		3		19		
		4		14		
		5		21		
		6		22		
		7		20		
		8		26		
		9		22		
		10		24		

**Capítulo 7. Aplicação da norma NP 4305:1995 ao caso de estudo****7.A Atribuição de classes de qualidade parcial- Nós****7.A.1 Vigas direitas**

Elemento		Elipse		Circular	Agrupamento	Kar marginal	Kar total	Classe Parcial	Classe final
Viga	Nó	Dmaior (m)	Dmenor (m)	D(m)					
1D	N.1D.1			0,035	Isolado	0,034	0,092	Classe EE	Classe EE
	N.1D.2			0,052	Isolado	0,034	0,126	Classe EE	
	N.1D.3			0,045	Isolado	0,103	0,138	Classe EE	
	N.1D.4			0,061	Isolado	0,034	0,149	Classe EE	
2D	N.2D.1			0,036	Isolado	0,021	0,128	Classe EE	Classe E
	N.2D.2			0,051	Isolado	0,053	0,128	Classe EE	
	N.2D.3			0,065	Isolado	0,043	0,224	Classe E	
	N.2D.4			0,01	Isolado	0,032	0,043	Classe EE	
	N.2D.5			0,04	Isolado	0,118	0,150	Classe EE	
	N.2D.6			0,042	Isolado	0,118	0,160	Classe EE	
3D	N.3D.1			0,028	Isolado	0,000	0,050	Classe EE	Classe EE
	N.3D.2	0,038	0,035		Isolado	0,110	0,140	Classe EE	
	N.3D.3	0,065	0,061		Isolado	0,010	0,100	Classe EE	
	N.3D.4			0,026		0,000	0,040	Classe EE	
	N.3D.5			0,031	Agrupado	0,030	0,170	Classe EE	
	N.3D.6			0,024				Classe EE	
	N.3D.7	0,074	0,035					Classe EE	
	N.3D.8			0,035	Isolado	0,030	0,060	Classe EE	
	N.3D.9	0,029	0,024		Isolado	0,050	0,060	Classe EE	
	N.3D.10			0,019	Isolado	0,000	0,030	Classe EE	
	N.3D.11			0,027	Isolado	0,000	0,040	Classe EE	
5D	N.5D.1			0,043	Isolado	0,000	0,145	Classe EE	Classe EE
	N.5D.2	0,025	0,02		Isolado	0,054	0,073	Classe EE	
	N.5D.3			0,028	Isolado	0,054	0,100	Classe EE	
	N.5D.4	0,046	0,05		Isolado	0,136	0,172	Classe EE	
	N.5D.5			0,041	Isolado	0,027	0,145	Classe EE	
	N.5D.6	0,041	0,029		Isolado	0,009	0,100	Classe EE	
	N.5D.7			0,022	Isolado	0,045	0,073	Classe EE	
	N.5D.8			0,031	Isolado	0,064	0,109	Classe EE	
6D	N.6D.1	0,042	0,028		Isolado	0,170	0,250	Classe E	Classe E
	N.6D.2			0,034	Isolado	0,090	0,120	Classe EE	
	N.6D.3			0,028	Isolado	0,000	0,100	Classe EE	
	N.6D.4	0,029	0,024		Isolado	0,070	0,100	Classe EE	
	N.6D.5	0,028	0,021		Isolado	0,070	0,100	Classe EE	
	N.6D.6			0,052	Isolado	0,010	0,180	Classe EE	
	N.6D.7			0,02	Agrupado	0,070	0,090	Classe EE	
	N.6D.8			0,018				Classe EE	
7D	N.7D.1			0,026	Isolado	0,078	0,101	Classe EE	Classe EE
	N.7D.2			0,034	Isolado	0,006	0,062	Classe EE	
	N.7D.3			0,029	Isolado	0,090	0,123	Classe EE	
	N.7D.4			0,032	Isolado	0,006	0,062	Classe EE	
	N.7D.5			0,029	Isolado	0,090	0,123	Classe EE	
8D	N.8D.1			0,024	Isolado	0,000	0,085	Classe EE	Classe E
	N.8D.2			0,048	Isolado	0,034	0,169	Classe EE	
	N.8D.3	0,052	0,027		Isolado	0,059	0,085	Classe EE	
	N.8D.4			0,032	Isolado	0,000	0,110	Classe EE	
	N.8D.5			0,034	Isolado	0,034	0,119	Classe EE	
	N.8D.6	0,054	0,021		Isolado	0,110	0,254	Classe E	
	N.8D.7			0,042	Isolado	0,093	0,127	Classe EE	

<b>9D</b>	N.9D.1			0,026	Isolado	0,074	0,101	Classe EE	Classe EE
	N.9D.2			0,015	Isolado	0,037	0,046	Classe EE	
	N.9D.3			0,011	Isolado	0,009	0,018	Classe EE	
	N.9D.4	0,031	0,022		Isolado	0,074	0,101	Classe EE	
	N.9D.5	0,032	0,025		Isolado	0,101	0,147	Classe EE	
	N.9D.6			0,016	Isolado	0,005	0,032	Classe EE	
<b>10D</b>	N.10D.1			0,031	Isolado	0,000	0,113	Classe EE	Classe EE
	N.10D.2			0,025	Isolado	0,019	0,085	Classe EE	
	N.10D.3			0,029	Isolado	0,000	0,103	Classe EE	
	N.10D.4			0,041	Isolado	0,028	0,141	Classe EE	
<b>11D</b>	N.11D.1			0,032	Isolado	0,086	0,114	Classe EE	Classe EE
	N.11D.2			0,022	Isolado	0,057	0,071	Classe EE	
	N.11D.3			0,033	Isolado	0,086	0,114	Classe EE	
<b>12D</b>	N.12D.1			0,042	Isolado	0,010	0,079	Classe EE	Classe EE
	N.12D.2			0,036	Isolado	0,098	0,128	Classe EE	
	N.12D.3			0,042	Isolado	0,000	0,069	Classe EE	
	N.12D.4	0,044	0,025		Isolado	0,000	0,059	Classe EE	
	N.12D.5			0,035	Isolado	0,000	0,059	Classe EE	
<b>13D</b>	N.13D.1	0,069	0,032		Isolado	0,120	0,251	Classe E	Classe E
	N.13D.2			0,055	Isolado	0,164	0,207	Classe E	
	N.13D.3			0,068	Isolado	0,000	0,164	Classe EE	

**7.A.2 Vigas Esquerdas**

Elemento		Elipse		Circular	Agrupamento	Kar marginal	Kar total	Classe Parcial	Classe final
Viga	Nó	Dmaior (m)	Dmenor (m)	D(m)					
1E	N.1E.1			0,032	Isolado	0,065	0,084	Classe EE	Classe EE
	N.1E.2			0,028	Isolado	0,056	0,075	Classe EE	
	N.1E.3			0,032	Isolado	0,065	0,084	Classe EE	
2E	N.2E.1			0,02	Isolado	0,005	0,038	Classe EE	Classe EE
	N.2E.2			0,027	Isolado	0,067	0,095	Classe EE	
3E	N.3E.1			0,03	Isolado	0,064	0,085	Classe EE	Classe EE
	N.3E.2			0,032	Isolado	0,007	0,050	Classe EE	
	N.3E.3			0,025	Isolado	0,000	0,035	Classe EE	
	N.3E.4			0,045	Isolado	0,099	0,128	Classe EE	
4E	N.4E.1			0,037	Isolado	0,000	0,060	Classe EE	Classe E
	N.4E.2			0,047	Isolado	0,000	0,079	Classe EE	
	N.4E.3	0,052	0,025		Isolado	0,099	0,179	Classe EE	
	N.4E.4	0,06	0,03		Isolado	0,119	0,208	Classe E	
	N.4E.5			0,035	Isolado	0,020	0,060	Classe EE	
	N.4E.6			0,045	Isolado	0,030	0,079	Classe EE	
	N.4E.7			0,04	Isolado	0,030	0,069	Classe EE	
	N.4E.8	0,035	0,02		Isolado	0,079	0,129	Classe EE	
	N.4E.9	0,029	0,01		Isolado	0,000	0,298	Classe E	
	N.4E.10			0,042	Isolado	0,109	0,149	Classe EE	
5E	N.5E.1			0,02	Isolado	0,053	0,062	Classe EE	Classe EE
	N.5E.2			0,04	Isolado	0,089	0,124	Classe EE	
	N.5E.3			0,052	Isolado	0,124	0,160	Classe EE	
	N.5E.4			0,072	Isolado	0,009	0,124	Classe EE	
8E	N.8E.1			0,02	Isolado	0,000	0,039	Classe EE	Classe EE
	N.8E.2			0,015	Isolado	0,039	0,049	Classe EE	
	N.8E.3			0,02	Isolado	0,019	0,049	Classe EE	

9E	N.9E.1			0,028	Isolado	0,000	0,106	Classe EE	Classe E
	N.9E.2			0,065	Isolado	0,000	0,242	Classe E	
	N.9E.3			0,042	Isolado	0,019	0,155	Classe EE	
	N.9E.4	0,041	0,037		Isolado	0,155	0,271	Classe E	
	N.9E.5			0,075	Isolado	0,019	0,281	Classe E	
	N.9E.6			0,045	Isolado	0,000	0,164	Classe EE	
	N.9E.7			0,061	Isolado	0,010	0,223	Classe E	
	N.9E.8			0,035	Isolado	0,019	0,126	Classe EE	
	N.9E.9			0,035	Isolado	0,010	0,126	Classe EE	
10E	N.10E.1			0,051	Isolado	0,030	0,060	Classe EE	Classe EE
	N.10E.2			0,062	Isolado	0,000	0,111	Classe EE	
	N.10E.3			0,035	Isolado	0,030	0,060	Classe EE	
	N.10E.4			0,041	Isolado	0,030	0,070	Classe EE	
	N.10E.5			0,024	Isolado	0,020	0,050	Classe EE	
	N.10E.6			0,043	Isolado	0,111	0,151	Classe EE	
	N.10E.7			0,04	Isolado	0,005	0,070	Classe EE	
	N.10E.8			0,052	Isolado	0,020	0,091	Classe EE	
11E	N.11E.1			0,032	Isolado	0,030	0,061	Classe EE	Classe EE
	N.11E.2			0,028	Isolado	0,000	0,051	Classe EE	
	N.11E.3			0,039	Isolado	0,101	0,132	Classe EE	
	N.11E.4			0,031	Isolado	0,000	0,061	Classe EE	
	N.11E.5			0,035	Isolado	0,091	0,122	Classe EE	
	N.11E.6			0,039	Isolado	0,000	0,071	Classe EE	
12E	N.12E.1			0,038	Isolado	0,104	0,138	Classe EE	Classe E
	N.12E.2	0,048	0,021		Isolado	0,012	0,138	Classe EE	
	N.12E.3	0,041	0,019		Isolado	0,000	0,207	Classe E	
	N.12E.4	0,048	0,025		Isolado	0,023	0,150	Classe EE	
	N.12E.5	0,05	0,02		Isolado	0,069	0,092	Classe EE	
	N.12E.6			0,005	Agrupado	0,000	0,046	Classe EE	
	N.12E.7			0,005					
	N.12E.8	0,037	0,02		Agrupado	0,023	0,253	Classe E	
	N.12E.9	0,052	0,015		Agrupado	0,012	0,138	Classe EE	
	N.12E.10	0,028	0,05						
	N.12E.11	0,027	0,01						
	N.12E.12	0,062	0,028		Isolado	0,138	0,345	Classe E	
	N.12E.13			0,019	Isolado	0,035	0,081	Classe EE	
	N.12E.14			0,02	Agrupado	0,035	0,104	Classe EE	
	N.12E.15			0,07					
13E	N.13E.1			0,048	Isolado	0,008	0,079	Classe EE	Classe EE
	N.13E.2			0,029	Isolado	0,000	0,048	Classe EE	
	N.13E.3			0,031	Isolado	0,008	0,055	Classe EE	
	N.13E.4			0,042	Isolado	0,016	0,063	Classe EE	
	N.13E.5			0,029	Isolado	0,008	0,048	Classe EE	

**7.A.3 Viga Central**

Elemento		Elipse		Circular	Agrupamento	Kar marginal	Kar total	Classe Parcial	Classe final
Viga	Nó	Dmaior (m)	Dmenor (m)	D(m)					
CS	N.CS.1			0,01	Isolado	0,000	0,022	Classe EE	Classe EE
	N.CS.2			0,02	Isolado	0,005	0,032	Classe EE	
	N.CS.3			0,035	Isolado	0,011	0,065	Classe EE	
	N.CS.4			0,04	Isolado	0,022	0,076	Classe EE	
CI	N.CI.1			0,025	Isolado	0,068	0,091	Classe EE	Classe EE
	N.CS.2	0,05	0,02		Isolado	0,091	0,171	Classe EE	
	N.CS.3			0,03	Isolado	0,034	0,057	Classe EE	
	N.CS.4	0,06	0,02		Isolado	0,091	0,182	Classe EE	
	N.CS.5			0,039	Isolado	0,006	0,068	Classe EE	
	N.CS.6	0,035	0,02		Isolado	0,091	0,137	Classe EE	
	N.CS.7			0,029	Isolado	0,000	0,057	Classe EE	
	N.CS.8			0,028	Isolado	0,000	0,057	Classe EE	
N.CS.9			0,027	Isolado	0,006	0,046	Classe EE		

## 7.A.4 Cálculo justificativo

Elemento		h(m)	b(m)	1/4*h(m)	Área da secção (m <sup>2</sup> )	Área marginal ocupada (m <sup>2</sup> )	Área total ocupada (m <sup>2</sup> )
Viga	Nó						
1D	N.1D.1	0,105	0,083	0,026	0,0087	0,0003	0,0008
	N.1D.2					0,0003	0,0011
	N.1D.3					0,0009	0,0012
	N.1D.4					0,0003	0,0013
2D	N.2D.1	0,144	0,065	0,036	0,0094	0,0002	0,0012
	N.2D.2					0,0005	0,0012
	N.2D.3					0,0004	0,0021
	N.2D.4					0,0003	0,0004
	N.2D.5					0,0011	0,0014
	N.2D.6					0,0011	0,0015
3D	N.3D.1	0,157	0,065	0,039	0,0102	0,0000	0,0005
	N.3D.2					0,0011	0,0014
	N.3D.3					0,0001	0,0010
	N.3D.4					0,0000	0,0004
	N.3D.5					0,0003	0,0017
	N.3D.6						
	N.3D.7					0,0003	0,0006
	N.3D.8					0,0005	0,0006
	N.3D.9					0,0000	0,0003
	N.3D.10					0,0000	0,0004
	N.3D.11						
5D	N.5D.1	0,145	0,076	0,036	0,0110	0,0000	0,0016
	N.5D.2					0,0006	0,0008
	N.5D.3					0,0006	0,0011
	N.5D.4					0,0015	0,0019
	N.5D.5					0,0003	0,0016
	N.5D.6					0,0001	0,0011
	N.5D.7					0,0005	0,0008
	N.5D.8					0,0007	0,0012
6D	N.6D.1	0,145	0,069	0,036	0,0100	0,0017	0,0025
	N.6D.2					0,0009	0,0012
	N.6D.3					0,0000	0,0010
	N.6D.4					0,0007	0,0010
	N.6D.5					0,0007	0,0010
	N.6D.6					0,0001	0,0018
	N.6D.7					0,0007	0,0009
	N.6D.8						
7D	N.7D.1	0,144	0,062	0,036	0,0089	0,0007	0,0009
	N.7D.2					0,0001	0,0006
	N.7D.3					0,0008	0,0011
	N.7D.4					0,0001	0,0006
	N.7D.5					0,0008	0,0011

**Trabalho Final de Mestrado**

Mestrado em Engenharia Civil- Perfil de Edificações

<b>8D</b>	N.8D.1	0,144	0,082	0,036	0,0118	0,0000	0,0010
	N.8D.2					0,0004	0,0020
	N.8D.3					0,0007	0,0010
	N.8D.4					0,0000	0,0013
	N.8D.5					0,0004	0,0014
	N.8D.6					0,0013	0,0030
	N.8D.7					0,0011	0,0015
<b>9D</b>	N.9D.1	0,153	0,071	0,038	0,0109	0,0008	0,0011
	N.9D.2					0,0004	0,0005
	N.9D.3					0,0001	0,0002
	N.9D.4					0,0008	0,0011
	N.9D.5					0,0011	0,0016
	N.9D.6					0,0001	0,0004
<b>10D</b>	N.10D.1	0,142	0,075	0,036	0,0107	0,0000	0,0012
	N.10D.2					0,0002	0,0009
	N.10D.3					0,0000	0,0011
	N.10D.4					0,0003	0,0015
<b>11D</b>	N.11D.1	0,096	0,073	0,024	0,0070	0,0006	0,0008
	N.11D.2					0,0004	0,0005
	N.11D.3					0,0006	0,0008
<b>12D</b>	N.12D.1	0,143	0,071	0,036	0,0102	0,0001	0,0008
	N.12D.2					0,0010	0,0013
	N.12D.3					0,0000	0,0007
	N.12D.4					0,0000	0,0006
	N.12D.5					0,0000	0,0006
<b>13D</b>	N.13D.1	0,141	0,065	0,035	0,0092	0,0011	0,0023
	N.13D.2					0,0015	0,0019
	N.13D.3					0,0000	0,0015

Elemento		h(m)	b(m)	1/4*h(m)	Área da secção (m <sup>2</sup> )	Área marginal ocupada (m <sup>2</sup> )	Área total ocupada (m <sup>2</sup> )
Viga	Nó						
1E	N.1E.1	0,113	0,095	0,028	0,0107	0,0007	0,0009
	N.1E.2					0,0006	0,0008
	N.1E.3					0,0007	0,0009
2E	N.2E.1	0,144	0,073	0,036	0,0105	0,0001	0,0004
	N.2E.2					0,0007	0,0010
3E	N.3E.1	0,162	0,087	0,041	0,0141	0,0009	0,0012
	N.3E.2					0,0001	0,0007
	N.3E.3					0,0000	0,0005
	N.3E.4					0,0014	0,0018
4E	N.4E.1	0,142	0,071	0,036	0,0101	0,0000	0,0006
	N.4E.2					0,0000	0,0008
	N.4E.3					0,0010	0,0018
	N.4E.4					0,0012	0,0021
	N.4E.5					0,0002	0,0006
	N.4E.6					0,0003	0,0008
	N.4E.7					0,0003	0,0007
	N.4E.8					0,0008	0,0013
	N.4E.9					0,0000	0,0030
	N.4E.10					0,0011	0,0015
5E	N.5E.1	0,139	0,081	0,035	0,0113	0,0006	0,0007
	N.5E.2					0,0010	0,0014
	N.5E.3					0,0014	0,0018
	N.5E.4					0,0001	0,0014
8E	N.8E.1	0,143	0,072	0,036	0,0103	0,0000	0,0004
	N.8E.2					0,0004	0,0005
	N.8E.3					0,0002	0,0005

<b>9E</b>	N.9E.1	0,136	0,076	0,034	0,0103	0,0000	0,0011
	N.9E.2					0,0000	0,0025
	N.9E.3					0,0002	0,0016
	N.9E.4					0,0016	0,0028
	N.9E.5					0,0002	0,0029
	N.9E.6					0,0000	0,0017
	N.9E.7					0,0001	0,0023
	N.9E.8					0,0002	0,0013
	N.9E.9					0,0001	0,0013
<b>10E</b>	N.10E.1	0,138	0,072	0,035	0,0099	0,0003	0,0006
	N.10E.2					0,0000	0,0011
	N.10E.3					0,0003	0,0006
	N.10E.4					0,0003	0,0007
	N.10E.5					0,0002	0,0005
	N.10E.6					0,0011	0,0015
	N.10E.7					0,0001	0,0007
	N.10E.8					0,0002	0,0009
<b>11E</b>	N.11E.1	0,139	0,071	0,035	0,0099	0,0003	0,0006
	N.11E.2					0,0000	0,0005
	N.11E.3					0,0010	0,0013
	N.11E.4					0,0000	0,0006
	N.11E.5					0,0009	0,0012
	N.11E.6					0,0000	0,0007
<b>12E</b>	N.12E.1	0,126	0,069	0,032	0,0087	0,0009	0,0012
	N.12E.2					0,0001	0,0012
	N.12E.3					0,0000	0,0018
	N.12E.4					0,0002	0,0013
	N.12E.5					0,0006	0,0008
	N.12E.6					0,0000	0,0004
	N.12E.8					0,0002	0,0022
	N.12E.9						
	N.12E.10.					0,0001	0,0012
	N.12E.11						
	N.12E.12					0,0012	0,0030
	N.12E.13					0,0003	0,0007
	N.12E.14						
	N.12E.15					0,0003	0,0009
	<b>13E</b>					N.13E.1	0,154
N.13E.2		0,0000	0,0006				
N.13E.3		0,0001	0,0007				
N.13E.4		0,0002	0,0008				
N.13E.5		0,0001	0,0006				

Elemento		h(m)	b(m)	1/4*h(m)	Área da secção (m <sup>2</sup> )	Área marginal ocupada (m <sup>2</sup> )	Área total ocupada (m <sup>2</sup> )
Viga	Nó						
CS	N.CS.1	0,14	0,066	0,035	0,0092	0,0000	0,0002
	N.CS.2					0,0001	0,0003
	N.CS.3					0,0001	0,0006
	N.CS.4					0,0002	0,0007
CI	N.CI.1	0,135	0,065	0,034	0,0088	0,0006	0,0008
	N.CS.2					0,0008	0,0015
	N.CS.3					0,0003	0,0005
	N.CS.4					0,0008	0,0016
	N.CS.5					0,0001	0,0006
	N.CS.6					0,0008	0,0012
	N.CS.7					0,0000	0,0005
	N.CS.8					0,0000	0,0005
	N.CS.9					0,0001	0,0004

**7.B Atribuição de classes de qualidade parcial- Inclinação do fio****7.B.1 Vigas esquerdas**

<b>Inclinação do fio- Vigas Esquerdas</b>				
	<b>Segm. AC (m)</b>	<b>Segm.BC (m)</b>	<b>Inclinação do fio</b>	<b>Atribuição de Classe</b>
<b>1</b>	0,5	0,002	0,0040	Classe EE
<b>2</b>	0,5	0,01	0,0200	Classe EE
<b>3</b>	0,5	0,005	0,0100	Classe EE
<b>4</b>	0,5	0,003	0,0060	Classe EE
<b>5</b>	0,5	0,002	0,0040	Classe EE
<b>8</b>	0,5	0,002	0,0040	Classe EE
<b>9</b>	0,5	0,005	0,0100	Classe EE
<b>10</b>	0,5	0,004	0,0080	Classe EE
<b>11</b>	0,5	0,001	0,0020	Classe EE
<b>12</b>	0,5	0,007	0,0140	Classe EE
<b>13</b>	0,5	0,009	0,0180	Classe EE

**7.B.2 Vigas direitas**

	<b>Segm. AC (m)</b>	<b>Segm.BC(m)</b>	<b>Inclinação do fio</b>	<b>Classe</b>
<b>1</b>	0,5	0,006	0,0120	Classe EE
<b>2</b>	0,5	0,003	0,0060	Classe EE
<b>3</b>	0,5	0,008	0,0160	Classe EE
<b>5</b>	0,5	0,005	0,0100	Classe EE
<b>6</b>	0,5	0,003	0,0060	Classe EE
<b>7</b>	0,5	0	0,0000	Classe EE
<b>8</b>	0,5	0	0,0000	Classe EE
<b>9</b>	0,5	0,009	0,0180	Classe EE
<b>10</b>	0,5	0,005	0,0100	Classe EE
<b>11</b>	0,5	0,002	0,0040	Classe EE
<b>12</b>	0,5	0,003	0,0060	Classe EE
<b>13</b>	0,5	0,008	0,0160	Classe EE

**7.B.3 Vigas centrais**

<b>Inclinação do fio- Vigas Centrais</b>				
	<b>Segm. AC (m)</b>	<b>Segm.BC (m)</b>	<b>Inclinação do fio</b>	<b>Atribuição de Classe</b>
<b>Inf.</b>	0,5	0,002	0,0040	Classe EE
<b>Sup.</b>	0,5	0,002	0,0040	Classe EE

## 7.C Atribuição de classes de qualidade parcial – Taxa de crescimento

Anéis de Crescimento- Esquerda				
	Comp. Medido(mm)	Nº anéis	Taxa de Crescimento	Classe
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9	0,136	28	0,0049	Classe EE
10				
11				
12	0,126	24	0,0053	Classe EE
13				


Anéis de Crescimento- Direita				
	Comp. Medido(mm)	Nº anéis	Taxa de Crescimento	Classe
1				
2	0,144	26	0,0055	Classe EE
3				
4				
5	0,145	27	0,0054	Classe EE
6	0,145	29	0,0050	Classe EE
7				
8	0,144	26	0,0055	Classe EE
9				
10				
11				
12	0,143	27	0,0053	Classe EE
13				

Anéis de Crescimento- Centrais				
	Comp. Medido(mm)	Nº anéis	Taxa de Crescimento	Classe
Inf	0,065	15	0,0043	Classe EE
Sup				

**7.D Fichas de classe de qualidade**


Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento		Viga 1 Esquerda				
Secção (bxh)		0,09x0,113 (m)				
Comprimento		2,195(m)				
Dimensão do Apoio		Encastrada em cimento (m)				
Espécie		Pinho Bravo				
Teor em água		11,57 %				
<b>Análise de Anomalias</b>						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		D maior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.1E.1			0,032	0,065	0,084
	N.1E.2			0,028	0,056	0,075
	N.1E.3			0,032	0,065	0,084
Taxa de Crescimento *						
		Comprimento Medido (m)	Nº de aneis		R (m)	
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio						
		Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	$i = BC/AC$		
		0,5	0,002	0,0040		
Degradação Biológica (Apenas informativo)		Caruncho pequeno				
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)		EE				
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)		C35				




Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 1 Direita						
Secção (bxh)	0,083x0,105 (m)					
Comprimento	2,635(m)					
Dimensão do Apoio	0,35 (m)					
Espécie Pinho Bravo						
Teor em água	12,20%					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		Dmaior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.1D.1			0,035	0,0344	0,0918
	N.1D.2			0,052	0,0344	0,1262
	N.1D.3			0,045	0,1033	0,1377
N.1D.4			0,061	0,0344	0,1492	
Taxa de Crescimento *	Comprimento Medido (m)		Nº de aneis		R (m)	
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio	Segmento AC (m)		Segmento BC (m)		$i = BC/AC$	
	0,5		0,006		0,012	
Degradação Biológica (Apenas informativo)	Caruncho pequeno					
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)	EE					
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)	C35					

**Trabalho Final de Mestrado**


Mestrado em Engenharia Civil- Perfil de Edificações


Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 2 Esquerda						
Secção (bxh)	0,073x0,144 (m)					
Comprimento	2,885(m)					
Dimensão do Apoio	Encastrada em cimento (m)					
Espécie	Pinho Bravo					
Teor em água	12,67 %					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		D maior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.2E.1			0,02	0,005	0,038
N.2E.2				0,027	0,067	0,095
Taxa de Crescimento *		Comprimento Medido (m)	Nº de aneis		R (m)	
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio	Segmento AC (m)		Segmento BC (m)		$i = BC/AC$	
	0,5		0,002		0,004	
Degradação Biológica (Apenas informativo)	Caruncho pequeno					
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)	EE					
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)	C35					

Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 2 Direita						
Secção (bxh) 0,065x0,144 (m)						
Comprimento 2,677(m)						
Dimensão do Apoio 0,37(m)						
Espécie Pinho Bravo						
Teor em água 12,33 %						
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		D maior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.2D.1			0,036	0,0107	0,0641
	N.2D.2			0,051	0,0214	0,0855
	N.2D.3			0,065	0,0214	0,1175
	N.2D.4			0,01	0,0321	0,0427
	N.2D.5			0,04	0,1175	0,1603
	N.2D.6			0,042	0,1282	0,1709
Taxa de Crescimento *						
		Comprimento Medido (m)	Nº de aneis	R (m)		
		0,144	26	0,0055		
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio						
		Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	$i = BC/AC$		
		0,5	0,006	0,012		
Degradação Biológica (Apenas informativo)		Caruncho pequeno				
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)		E				
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)		C18				

**Trabalho Final de Mestrado**


Mestrado em Engenharia Civil- Perfil de Edificações


Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 3 Esquerda						
Secção (bxh) 0,087x0,162 (m)						
Comprimento 2,741(m)						
Dimensão do Apoio Encastrada em cimento						
Espécie Pinho Bravo						
Teor em água 11,90%						
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		Dmaior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.3E.1			0,03	0,064	0,085
	N.3E.2			0,032	0,007	0,050
	N.3E.3			0,025	0,000	0,035
N.3E.4			0,045	0,099	0,128	
Taxa de Crescimento *		Comprimento Medido (m)	Nº de aneis	R (m)		
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio		Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	$i = BC/AC$		
		0,5	0,005	0,01		
Degradação Biológica (Apenas informativo)						
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)		EE				
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)		C35				

Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 3 Direita						
Secção (bxh)	0,065x0,157 (m)					
Comprimento	2,616(m)					
Dimensão do Apoio	0,28(m)					
Espécie	Pinho Bravo					
Teor em água	11,90%					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		Dmaior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.3D.1			0,028	0	0,050
	N.3D.2	0,038	0,035		0,110	0,140
	N.3D.3	0,065	0,061		0,010	0,100
	N.3D.4			0,026	0	0,040
	N.3D.5			0,031	0,030	0,170
	N.3D.6			0,024		0
	N.3D.7	0,074	0,035		0	0
	N.3D.8			0,035	0,030	0,060
	N.3D.9	0,029	0,024		0,050	0,060
	N.3D.10			0,019	0	0,030
N.3D.11			0,027	0	0,040	
Taxa de Crescimento *		Comprimento Medido (m)	Nº de aneis	R (m)		
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio		Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	$i = BC/AC$		
		0,5	0,008	0,016		
Degradação Biológica (Apenas informativo)						
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)		EE				
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)		C35				

## Trabalho Final de Mestrado


Mestrado em Engenharia Civil- Perfil de Edificações


Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 4 Esquerda						
Secção (bxh)	0,071x0,142 (m)					
Comprimento	3,123(m)					
Dimensão do Apoio	Encastrada em cimento					
Espécie	Pinho Bravo					
Teor em água	13,10%					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		D maior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.4E.1			0,037	0	0,060
	N.4E.2			0,047	0	0,079
	N.4E.3	0,052	0,025		0,099	0,179
	N.4E.4	0,06	0,03		0,119	0,208
	N.4E.5			0,035	0,020	0,060
	N.4E.6			0,045	0,030	0,079
	N.4E.7			0,04	0,030	0,069
	N.4E.8	0,035	0,02		0,079	0,129
	N.4E.9	0,029	0,01		0	0,298
N.4E.10			0,042	0,109	0,149	
Taxa de Crescimento *	Comprimento Medido (m)	Nº de aneis	R (m)			
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	$i = BC/AC$			
	0,5	0,003	0,006			
Degradação Biológica (Apenas informativo)	Caruncho Grande- Perda de seção: 27,514%					
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)	E					
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)	C18					

Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 4 Direita						
Secção (bxh)	0,068x0,136 (m)					
Comprimento	2,673(m)					
Dimensão do Apoio	0,18(m)					
Espécie	Pinho Bravo					
Teor em água	12,40%					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		D maior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
Taxa de Crescimento *		Comprimento Medido (m)	Nº de aneis	R (m)		
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio		Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	$i = BC/AC$		
Degradação Biológica (Apenas informativo)		Caruncho Grande				
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)		Classe não atribuída				
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)		Classe não atribuída				

**Trabalho Final de Mestrado**


Mestrado em Engenharia Civil- Perfil de Edificações


Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 5 Esquerda						
Secção (bxh)	0,081x0,139 (m)					
Comprimento	3,135(m)					
Dimensão do Apoio	0,26(m)					
Espécie	Pinho Bravo					
Teor em água	12,83 %					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		Dmaior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.5E.1			0,02	0,053	0,062
	N.5E.2			0,04	0,089	0,124
	N.5E.3			0,052	0,124	0,160
N.5E.4			0,072	0,009	0,124	
Taxa de Crescimento *	Comprimento Medido (m)		Nº de anéis	R (m)		
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio	Segmento AC (m)		Segmento BC (m)	$i = BC/AC$		
	0,5		0,002	0,004		
Degradação Biológica (Apenas informativo)	Caruncho Grande- Perda de seção: 4,574%					
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)	EE					
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)	C35					

Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 5 Direita						
Secção (bxh)	0,076x0,145 (m)					
Comprimento	2,672(m)					
Dimensão do Apoio	0,32(m)					
Espécie	Pinho Bravo					
Teor em água	12,13 %					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		D maior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.5D.1			0,043	0	0,1452
	N.5D.2	0,025	0,02		0,0544	0,0726
	N.5D.3			0,028	0,0544	0,0998
	N.5D.4	0,046	0,05		0,1361	0,1724
	N.5D.5			0,041	0,0272	0,1452
	N.5D.6	0,041	0,029		0,0091	0,0998
	N.5D.7			0,022	0,0454	0,0726
N.5D.8			0,031	0,0635	0,1089	
Taxa de Crescimento *	Comprimento Medido (m)		Nº de aneis		R (m)	
	0,145		27		0,0054	
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio	Segmento AC (m)		Segmento BC (m)		$i = BC/AC$	
	0,5		0,005		0,01	
Degradação Biológica (Apenas informativo)						
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)	EE					
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)	C35					

**Trabalho Final de Mestrado**


Mestrado em Engenharia Civil- Perfil de Edificações


Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 6 Esquerda						
Secção (bxh)	0,082x0,129 (m)					
Comprimento	3,152(m)					
Dimensão do Apoio	0,26(m)					
Espécie	Pinho Bravo					
Teor em água	12,97%					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		Dmaior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
Taxa de Crescimento *		Comprimento Medido (m)		Nº de aneis		R (m)
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio		Segmento AC (m)		Segmento BC (m)		$i = BC/AC$
Degradação Biológica (Apenas informativo)		Caruncho Grande				
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)		Classe não atribuída				
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)		Classe não atribuída				

Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 6 Direita						
Secção (bxh)	0,069x0,145 (m)					
Comprimento	2,669(m)					
Dimensão do Apoio	0,25(m)					
Espécie	Pinho Bravo					
Teor em água	12,40%					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		D maior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.6D.1	0,042	0,028		0,170	0,250
	N.6D.2			0,034	0,090	0,120
	N.6D.3			0,028	0	0,100
	N.6D.4	0,029	0,024		0,070	0,100
	N.6D.5	0,028	0,021		0,070	0,100
	N.6D.6			0,052	0,010	0,180
	N.6D.7			0,02	0,070	0,090
N.6D.8			0,018			
Taxa de Crescimento *	Comprimento Medido (m)		Nº de aneis	R (m)		
	0,145		29	0,005		
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio	Segmento AC (m)		Segmento BC (m)	$i = BC/AC$		
	0,5		0,003	0,006		
Degradação Biológica (Apenas informativo)						
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)	E					
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)	C18					

**Trabalho Final de Mestrado**


Mestrado em Engenharia Civil- Perfil de Edificações


Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 7 Esquerda						
Secção (bxh)	0,92x0,136 (m)					
Comprimento	3,042(m)					
Dimensão do Apoio	016(m)					
Espécie	Pinho Bravo					
Teor em água	12,20%					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		D maior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
Taxa de Crescimento *		Comprimento Medido (m)	Nº de aneis	R (m)		
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio		Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	$i = BC/AC$		
Degradação Biológica (Apenas informativo)		Caruncho Grande				
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)		Classe não atribuída				
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)		Classe não atribuída				

Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 7 Direita						
Secção (bxh)	0,062x0,144 (m)					
Comprimento	2,720(m)					
Dimensão do Apoio	0,20(m)					
Espécie	Pinho Bravo					
Teor em água	11,86%					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		D maior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.7D.1			0,026	0,078	0,101
	N.7D.2			0,034	0,006	0,062
	N.7D.3			0,029	0,090	0,123
	N.7D.4			0,032	0,006	0,062
N.7D.5			0,029	0,090	0,123	
Taxa de Crescimento *	Comprimento Medido (m)		Nº de aneis	R (m)		
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio	Segmento AC (m)		Segmento BC (m)	$i = BC/AC$		
	0,5		0	0		
Degradação Biológica (Apenas informativo)	Caruncho Pequeno					
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)	EE					
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)	C35					

**Trabalho Final de Mestrado**


Mestrado em Engenharia Civil- Perfil de Edificações


Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 8 Esquerda						
Secção (bxh)	0,072x0,143 (m)					
Comprimento	3,062(m)					
Dimensão do Apoio	0,185(m)					
Espécie	Pinho Bravo					
Teor em água	11,90 %					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		Dmaior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.8E.1			0,02	0,000	0,039
	N.8E.2			0,015	0,039	0,049
	N.8E.3			0,02	0,019	0,049
Taxa de Crescimento *		Comprimento Medido (m)	Nº de aneis	R (m)		
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio		Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	$i = BC/AC$		
		0,5	0,002	0,004		
Degradação Biológica (Apenas informativo)						
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)		EE				
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)		C35				

Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 8 Direita						
Secção (bxh)	0,082x0,144 (m)					
Comprimento	2,695(m)					
Dimensão do Apoio	0,23(m)					
Espécie	Pinho Bravo					
Teor em água	12,20%					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		Dmaior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.8D.1			0,024	0	0,085
	N.8D.2			0,048	0,034	0,169
	N.8D.3	0,052	0,027		0,059	0,085
	N.8D.4			0,032	0	0,110
	N.8D.5			0,034	0,034	0,119
	N.8D.6	0,054	0,021		0,110	0,254
N.8D.7			0,042	0,093	0,127	
Taxa de Crescimento *	Comprimento Medido (m)		Nº de anéis		R (m)	
	0,144		26		0,0055	
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio	Segmento AC (m)		Segmento BC (m)		$i = BC/AC$	
	0,5		0		0	
Degradação Biológica (Apenas informativo)	Caruncho Grande- Perda de seção: 38,643%					
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)	E					
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)	C18					

**Trabalho Final de Mestrado**


Mestrado em Engenharia Civil- Perfil de Edificações


Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 9 Esquerda						
Secção (bxh)	0,076x0,136 (m)					
Comprimento	3,113(m)					
Dimensão do Apoio	0,19(m)					
Espécie	Pinho Bravo					
Teor em água	12,33 %					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		D maior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.9E.1			0,028	0	0,106
	N.9E.2			0,065	0	0,242
	N.9E.3			0,042	0,019	0,155
	N.9E.4	0,041	0,037		0,155	0,271
	N.9E.5			0,075	0,019	0,281
	N.9E.6			0,045	0	0,164
	N.9E.7			0,061	0,010	0,223
	N.9E.8			0,035	0,019	0,126
N.9E.9			0,035	0,010	0,126	
Taxa de Crescimento *	Comprimento Medido (m)		Nº de anéis	R (m)		
	0,136		28	0,0049		
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio	Segmento AC (m)		Segmento BC (m)	$i = BC/AC$		
	0,5		0,005	0,01		
Degradação Biológica (Apenas informativo)						
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)	E					
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)	C18					

Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 9 Direita						
Secção (bxh) 0,071x0,153 (m)						
Comprimento 2,677(m)						
Dimensão do Apoio 0,16(m)						
Espécie Pinho Bravo						
Teor em água 11,67 %						
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		D maior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.9D.1			0,026	0,0736	0,1013
	N.9D.2			0,015	0,0368	0,0460
	N.9D.3			0,011	0,0092	0,0184
	N.9D.4	0,031	0,022		0,0736	0,1013
	N.9D.5	0,032	0,025		0,1013	0,1473
	N.9D.6			0,016	0,0046	0,0322
Taxa de Crescimento *						
	Comprimento Medido (m)		Nº de aneis	R (m)		
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio						
	Segmento AC (m)		Segmento BC (m)	$i = BC/AC$		
	0,5		0,009	0,018		
Degradação Biológica (Apenas informativo)						
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)						
	EE					
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)						
	C35					

## Trabalho Final de Mestrado


Mestrado em Engenharia Civil- Perfil de Edificações


Ficha de Inspeção visual								
Identificação do elemento Viga 10 Esquerda								
Secção (bxh) 0,072x0,138 (m)								
Comprimento 3,216(m)								
Dimensão do Apoio 0,31(m)								
Espécie Pinho Bravo								
Teor em água 12,53 %								
Análise de Anomalias								
Nós	Nº	Elipse				Circular	KAR Marg.	KAR Total
		D maior (m)		D menor (m)		D maior (m)		
	N.10E.1					0,051	0,030	0,060
	N.10E.2					0,062	0	0,111
	N.10E.3					0,035	0,030	0,060
	N.10E.4					0,041	0,030	0,070
	N.10E.5					0,024	0,020	0,050
	N.10E.6					0,043	0,111	0,151
	N.10E.7					0,04	0,005	0,070
N.10E.8					0,052	0,020	0,091	
Taxa de Crescimento *								
		Comprimento Medido (m)		Nº de aneis		R (m)		
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula								
Inclinação do fio								
		Segmento AC (m)		Segmento BC (m)		$i = BC/AC$		
		0,5		0,004		0,008		
Degradação Biológica (Apenas informativo)		Caruncho Pequeno						
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)		EE						
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)		C35						


Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 10 Direita						
Secção (bxh)	0,075x0,142 (m)					
Comprimento	2,714(m)					
Dimensão do Apoio	0,18(m)					
Espécie	Pinho Bravo					
Teor em água	12,33%					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		Dmaior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.10D.1			0,031	0	0,113
	N.10D.2			0,025	0,019	0,085
	N.10D.3			0,029	0	0,103
N.10D.4			0,041	0,028	0,141	
Taxa de Crescimento *	Comprimento Medido (m)		Nº de aneis		R (m)	
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio	Segmento AC (m)		Segmento BC (m)		$i = BC/AC$	
	0,5		0,005		0,01	
Degradação Biológica (Apenas informativo)	Caruncho Pequeno					
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)	EE					
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)	C35					


**Trabalho Final de Mestrado**

Mestrado em Engenharia Civil- Perfil de Edificações

Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 11 Esquerda						
Secção (bxh) 0,071x0,139 (m)						
Comprimento 3,184(m)						
Dimensão do Apoio 0,26(m)						
Espécie Pinho Bravo						
Teor em água 12,97 %						
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		D maior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.11E.1			0,032	0,030	0,061
	N.11E.2			0,028	0	0,051
	N.11E.3			0,039	0,101	0,132
	N.11E.4			0,031	0	0,061
	N.11E.5			0,035	0,091	0,122
	N.11E.6			0,039	0	0,071
Taxa de Crescimento *						
Comprimento Medido (m)		Nº de aneis		R (m)		
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio						
Segmento AC (m)		Segmento BC (m)		$i = BC/AC$		
0,5		0,001		0,002		
Degradação Biológica (Apenas informativo)		Caruncho Pequeno				
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)		EE				
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)		C35				


Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 11 Direita						
Secção (bxh)	0,073x0,096 (m)					
Comprimento	2,712(m)					
Dimensão do Apoio	0,17(m)					
Espécie Pinho Bravo						
Teor em água	12,60 %					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		Dmaior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.11D.1			0,032	0,0856	0,1142
	N.11D.2			0,022	0,0571	0,0713
N.11D.3			0,033	0,0856	0,1142	
Taxa de Crescimento *	Comprimento Medido (m)		Nº de aneis		R (m)	
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio	Segmento AC (m)		Segmento BC (m)		$i = BC/AC$	
	0,5		0,002		0,004	
Degradação Biológica (Apenas informativo)	Caruncho pequeno					
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)	EE					
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)	C35					


Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 12 Esquerda						
Secção (bxh)	0,069x0,126 (m)					
Comprimento	3,132(m)					
Dimensão do Apoio	0,27(m)					
Espécie Pinho Bravo						
Teor em água	12,67 %					
Análise de Anomalias						
	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		Dmaior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
Nós	N.12E.1			0,038	0,104	0,138
	N.12E.2	0,048	0,021		0,012	0,138
	N.12E.3	0,041	0,019		0	0,207
	N.12E.4	0,048	0,025		0,023	0,150
	N.12E.5	0,05	0,02		0,069	0,092
	N.12E.6			0,005	0	0,046
	N.12E.7			0,005		
	N.12E.8	0,037	0,02		0,023	0,253
	N.12E.9	0,052	0,015			
	N.12E.10	0,028	0,05		0,012	0,138
	N.12E.11	0,027	0,01			
	N.12E.12	0,062	0,028		0,138	0,345
	N.12E.13			0,019	0,035	0,081
	N.12E.14			0,02	0,035	0,104
	N.12E.15			0,07		
Taxa de Crescimento *		Comprimento Medido (m)	Nº de aneis	R (m)		
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio		Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	$i = BC/AC$		
		0,5	0,007	0,014		
Degradação Biológica (Apenas informativo)	Caruncho Pequeno					
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)	E					
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)	C18					

Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 12 Direita						
Secção (bxh)	0,071x0,143 (m)					
Comprimento	2,823(m)					
Dimensão do Apoio	0,25(m)					
Espécie	Pinho Bravo					
Teor em água	12,13 %					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		Dmaior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.12D.1			0,042	0,0098	0,0788
	N.12D.2			0,036	0,0985	0,1280
	N.12D.3			0,042	0,0000	0,0689
	N.12D.4	0,044	0,025		0,0000	0,0591
N.12D.5			0,035	0,0000	0,0591	
Taxa de Crescimento *	Comprimento Medido (m)		Nº de aneis		R (m)	
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio	Segmento AC (m)		Segmento BC (m)		$i = BC/AC$	
	0,5		0,003		0,006	
Degradação Biológica (Apenas informativo)	Caruncho pequeno					
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)	EE					
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)	C35					

**Trabalho Final de Mestrado**

Mestrado em Engenharia Civil- Perfil de Edificações


Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 13 Esquerda						
Secção (bxh)	0,082x0,154 (m)					
Comprimento	3,142(m)					
Dimensão do Apoio	0,26(m)					
Espécie	Pinho Bravo					
Teor em água	13,07 %					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		Dmaior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.13E.1			0,048	0,008	0,079
	N.13E.2			0,029	0	0,048
	N.13E.3			0,031	0,008	0,055
	N.13E.4			0,042	0,016	0,063
	N.13E.5			0,029	0,008	0,048
Taxa de Crescimento *	Comprimento Medido (m)		Nº de aneis	R (m)		
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio	Segmento AC (m)		Segmento BC (m)	$i = BC/AC$		
	0,5		0,009	0,018		
Degradação Biológica (Apenas informativo)	Caruncho pequeno					
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)	EE					
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)	C35					

Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga 13 Direita						
Secção (bxh)	0,065x0,141 (m)					
Comprimento	3,112(m)					
Dimensão do Apoio	0,3(m)					
Espécie Pinho Bravo						
Teor em água	13,33 %					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		Dmaior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.13D.1	0,069	0,032		0,1200	0,2510
	N.13D.2			0,055	0,1637	0,2073
	N.13D.3			0,068	0,0000	0,1637
Taxa de Crescimento *		Comprimento Medido (m)	Nº de aneis	R (m)		
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio		Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	$i = BC/AC$		
		0,5	0,008	0,016		
Degradação Biológica (Apenas informativo)		Caruncho pequeno				
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)		E				
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)		C18				

**Trabalho Final de Mestrado**

Mestrado em Engenharia Civil- Perfil de Edificações

Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga Inferior						
Secção (bxh)	0,065x0,135 (m)					
Comprimento	6,602(m)					
Dimensão do Apoio: Casa	0,452(m)					
Espécie	Pinho Bravo					
Teor em água	12,7 %					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		D maior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.CI.1			0,025	0,068	0,091
	N.CS.2	0,05	0,02		0,091	0,171
	N.CS.3			0,03	0,034	0,057
	N.CS.4	0,06	0,02		0,091	0,182
	N.CS.5			0,039	0,006	0,068
	N.CS.6	0,035	0,02		0,091	0,137
	N.CS.7			0,029	0	0,057
	N.CS.8			0,028	0	0,057
N.CS.9			0,027	0,006	0,046	
Taxa de Crescimento *	Comprimento Medido (m)		Nº de anéis		R (m)	
	0,065		15		0,0043	
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio	Segmento AC (m)		Segmento BC (m)		$i = BC/AC$	
	0,5		0,002		0,004	
Degradação Biológica (Apenas informativo)	Caruncho grande - Perda de secção: 7,442%					
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)	EE					
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)	C35					

Ficha de Inspeção visual						
Identificação do elemento Viga Superior						
Secção (bxh)	0,065x0,140 (m)					
Comprimento	6,15(m)					
Dimensão do Apoio: sem apoio na casa(m)						
Espécie Pinho Bravo						
Teor em água	13,40 %					
Análise de Anomalias						
Nós	Nº	Elipse		Circular	KAR Marg.	KAR Total
		Dmaior (m)	D menor (m)	D maior (m)		
	N.CS.1			0,01	0	0,022
	N.CS.2			0,02	0,005	0,032
	N.CS.3			0,035	0,011	0,065
N.CS.4			0,04	0,022	0,076	
Taxa de Crescimento *	Comprimento Medido (m)		Nº de aneis		R (m)	
*Medir nos Topos da peça, ou em casos especiais se existir corte radial e medula						
Inclinação do fio	Segmento AC (m)		Segmento BC (m)		$i = BC/AC$	
	0,5		0,002		0,004	
Degradação Biológica (Apenas informativo)	Caruncho Grande- muito degradada no apoio - perda de secção no apoio: 35,813%					
Classe de Qualidade (NP EN 4305:1995)	EE					
Classe de Resistência (NP EN 1912:2013)	C35					

## Capítulo 8. Verificação da estrutura aos estados limites

### 8.A Características da madeira

#### 8.A.1 Por atribuição de classes de resistência C18 e C35 aos elementos da estrutura

Vigas Esquerdas	Estado	Características Geométricas					Características da madeira				
		h(m)	b(m)	Vão (m)	Afast.médio (m)	classe	pmédio (kN/m <sup>3</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )	fm,k (N/mm <sup>2</sup> )	fv,k (N/mm <sup>2</sup> )	
1	C/Caruncho pequeno	0,113	0,095	2,915	0,420	C35	4,80	11050	29,75	2,89	
2	C/Caruncho pequeno	0,144	0,073	2,885	0,420	C35	4,80	11050	29,75	2,89	
3	Sã	0,162	0,087	2,741	0,420	C35	4,80	13000	35	3,40	
4	Degradada	Zonas sãs	0,142	0,071	3,123	0,420	C18	3,80	9000	18	2,00
		Meio Vão	0,126	0,058	3,123	0,420		3,80	9000	18	2,00
		Apoios	0,126	0,058	3,123	0,420		3,80	9000	18	2,00
5	Ligeiramente Degradada	Zonas sãs	0,139	0,081	3,135	0,420	C35	4,80	13000	35	3,40
		Meio Vão	0,136	0,079	3,135	0,420		4,80	13000	35	3,40
		Apoios	0,136	0,079	3,135	0,420		4,80	13000	35	3,40
8	Sã	0,143	0,072	3,062	0,420	C35	4,80	13000	35	3,40	
9	Sã	0,136	0,076	3,113	0,420	C18	3,80	9000	18	2,00	
10	C/Caruncho pequeno	0,138	0,072	3,216	0,420	C35	4,80	11050	29,75	2,89	
11	C/Caruncho pequeno	0,139	0,071	3,184	0,420	C35	4,80	11050	29,75	2,89	
12	C/Caruncho pequeno	0,126	0,069	3,132	0,420	C18	4,80	7650	15,3	1,70	
13	C/Caruncho pequeno	0,154	0,082	3,142	0,420	C35	3,80	11050	29,75	28,90	

Vigas Direitas												
1	C/Caruncho pequeno	0,105	0,083	2,635	0,420	C35	4,80	11050	29,75	3,40		
2	C/Caruncho pequeno	0,144	0,065	2,677	0,420	C18	3,80	11050	15,3	2,00		
3	Sã	0,157	0,065	2,616	0,420	C35	4,80	13000	35	3,40		
5	Sã	0,145	0,076	2,672	0,420	C35	4,80	13000	35	3,40		
6	Sã	0,145	0,069	2,669	0,420	C18	3,80	9000	18	2,00		
7	C/Caruncho pequeno	0,144	0,062	2,720	0,420	C35	4,80	11050	29,75	2,89		
8	Degradada	0,144	0,082	2,695	0,420	C18	3,80	9000	18	2,00		
	Meio Vão	0,115	0,063	2,695	0,420	C18	3,80	9000	18	2,00		
	Apoios	0,115	0,063	2,695	0,420	C18	3,80	9000	18	2,00		
9	Sã	0,153	0,071	2,677	0,420	C35	4,80	13000	35	3,40		
10	C/Caruncho pequeno	0,142	0,075	2,714	0,420	C35	4,80	11050	29,75	2,89		
11	C/Caruncho pequeno	0,096	0,073	2,712	0,420	C35	4,80	11050	29,75	2,89		
12	C/Caruncho pequeno	0,143	0,071	2,823	0,420	C35	4,80	11050	29,75	2,89		
13	C/Caruncho pequeno	0,141	0,065	3,112	0,420	C18	3,80	7650	15,3	1,70		
Viga central(avaliada no conjunto)												
Degradada	Zonas sãs	0,275	0,065	3,301	0,420		4,80	13000	35	3,40		
	Meio Vão	0,23	0,061	3,301	0,420	C35	4,80	13000	35	3,40		
	Apoios	0,23	0,061	3,301	0,420		4,80	13000	35	3,40		

## 8.A.2 Com massa volúmica obtida experimentalmente

Vigas Esquerdas	Estado	Características Geométricas					Características da madeira				
		h(m)	b(m)	Vão (m)	Abast.médio (m)	classe	$\rho_{\text{médio}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>m,k</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>v,k</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	
1	C/Caruncho pequeno	0,113	0,095	2,915	0,420	C35	5,68	11050	29,75	2,89	
2	C/Caruncho pequeno	0,144	0,073	2,885	0,420	C35	5,68	11050	29,75	2,89	
3	Sã	0,162	0,087	2,741	0,420	C35	5,68	13000	35	3,40	
4	Zonas sãs	0,142	0,071	3,123	0,420	C18	5,68	9000	18	2,00	
	Meio Vão	0,126	0,058	3,123	0,420		5,68	9000	18	2,00	
	Apoios	0,126	0,058	3,123	0,420		5,68	9000	18	2,00	
5	Ligeiramente Degradada	0,139	0,081	3,135	0,420	C35	5,68	13000	35	3,40	
	Meio Vão	0,136	0,079	3,135	0,420		5,68	13000	35	3,40	
	Apoios	0,136	0,079	3,135	0,420		5,68	13000	35	3,40	
8	Sã	0,143	0,072	3,062	0,420	C35	5,68	13000	35	3,40	
9	Sã	0,136	0,076	3,113	0,420	C18	5,68	9000	18	2,00	
10	C/Caruncho pequeno	0,138	0,072	3,216	0,420	C35	5,68	11050	29,75	2,89	
11	C/Caruncho pequeno	0,139	0,071	3,184	0,420	C35	5,68	11050	29,75	2,89	
12	C/Caruncho pequeno	0,126	0,069	3,132	0,420	C18	5,68	7650	15,3	1,70	
13	C/Caruncho pequeno	0,154	0,082	3,142	0,420	C35	5,68	11050	29,75	3,40	

Vigas Direitas												
1	C/Caruncho pequeno	0,105	0,083	2,635	0,420	C35	5,68	11050	29,75	2,89		
2	C/Caruncho pequeno	0,144	0,065	2,677	0,420	C18	5,68	7650	15,3	1,70		
3	Sã	0,157	0,065	2,616	0,420	C35	5,68	13000	35	3,40		
5	Sã	0,145	0,076	2,672	0,420	C35	5,68	13000	35	3,40		
6	Sã	0,145	0,069	2,669	0,420	C18	5,68	9000	18	2,00		
7	C/Caruncho pequeno	0,144	0,062	2,720	0,420	C35	5,68	11050	29,75	2,89		
8	Zonas sãs	0,144	0,082	2,695	0,420	C18	5,68	9000	18	2,00		
	Meio Vão	0,115	0,063	2,695	0,420	C18	5,68	9000	18	2,00		
	Apoios	0,115	0,063	2,695	0,420	C18	5,68	9000	18	2,00		
9	Sã	0,153	0,071	2,677	0,420	C35	5,68	13000	35	3,40		
10	C/Caruncho pequeno	0,142	0,075	2,714	0,420	C35	5,68	11050	29,75	2,89		
11	C/Caruncho pequeno	0,096	0,073	2,712	0,420	C35	5,68	11050	29,75	2,89		
12	C/Caruncho pequeno	0,143	0,071	2,823	0,420	C35	5,68	11050	29,75	2,89		
13	C/Caruncho pequeno	0,141	0,065	3,112	0,420	C18	5,68	7650	15,3	1,70		
Viga central(avaliada no conjunto)												
	Zonas sãs	0,275	0,065	3,301	0,420		5,68	13000	35	3,40		
	Meio Vão	0,23	0,061	3,301	0,420	C35	5,68	13000	35	3,40		
	Apoios	0,23	0,061	3,301	0,420		5,68	13000	35	3,40		

## 8.B Valores de carregamento

### 8.B.1 Por atribuição de classes de resistência C18 e C35 aos elementos da estrutura

Vigas Esquerdas	Estado	Carga unif./distribuida (kN/m)			
		p.p.	sc	rev.	
1	C/Caruncho pequeno	0,0515	0,8400	0,0034	
2	C/Caruncho pequeno	0,0505	0,8400	0,0034	
3	Sã	0,0677	0,8400	0,0034	
4	Degradada	Zonas sãs	0,0383	0,8400	0,0034
		Meio Vão	0,0278	0,8400	0,0034
		Apoios	0,0278	0,8400	0,0034
5	Ligeiramente Degradada	Zonas sãs	0,0540	0,8400	0,0034
		Meio Vão	0,0516	0,8400	0,0034
		Apoios	0,0516	0,8400	0,0034
8	Sã	0,0494	0,8400	0,0034	
9	Sã	0,0393	0,8400	0,0034	
10	C/Caruncho pequeno	0,0477	0,8400	0,0034	
11	C/Caruncho pequeno	0,0474	0,8400	0,0034	
12	C/Caruncho pequeno	0,0417	0,8400	0,0034	
13	C/Caruncho pequeno	0,0480	0,8400	0,0034	
<b>Vigas Direitas</b>					
1	C/Caruncho pequeno	0,0418	0,8400	0,0034	
2	C/Caruncho pequeno	0,0356	0,8400	0,0034	
3	Sã	0,0490	0,8400	0,0034	
5	Sã	0,0529	0,8400	0,0034	
6	Sã	0,0380	0,8400	0,0034	
7	C/Caruncho pequeno	0,0429	0,8400	0,0034	
8	Degradada	Zonas sãs	0,0449	0,8400	0,0034
		Meio Vão	0,0275	0,8400	0,0034
		Apoios	0,0275	0,8400	0,0034
9	Sã	0,0521	0,8400	0,0034	
10	C/Caruncho pequeno	0,0511	0,8400	0,0034	
11	C/Caruncho pequeno	0,0336	0,8400	0,0034	
12	C/Caruncho pequeno	0,0487	0,8400	0,0034	
13	C/Caruncho pequeno	0,0348	0,8400	0,0034	
<b>Viga central (avaliada no conjunto)</b>					
	Degradada	Zonas sãs	0,0858	0,8400	0,2881
		Meio Vão	0,0668	0,8400	0,2881
		Apoios	0,0668	0,8400	0,2881

## 8.B.2 Com massa volúmica obtida experimentalmente

Vigas Esquerdas		Estado	Carga unif./distribuida (kN/m)		
			p.p.	sc	rev.
1		C/Caruncho pequeno	0,0610	0,8400	0,0034
2		C/Caruncho pequeno	0,0597	0,8400	0,0034
3		Sã	0,0800	0,8400	0,0034
4	Degradada	Zonas sãs	0,0573	0,8400	0,0034
		Meio Vão	0,0415	0,8400	0,0034
		Apoios	0,0415	0,8400	0,0034
5	Ligeiramente Degradada	Zonas sãs	0,0639	0,8400	0,0034
		Meio Vão	0,0610	0,8400	0,0034
		Apoios	0,0610	0,8400	0,0034
8		Sã	0,0585	0,8400	0,0034
9		Sã	0,0587	0,8400	0,0034
10		C/Caruncho pequeno	0,0564	0,8400	0,0034
11		C/Caruncho pequeno	0,0560	0,8400	0,0034
12		C/Caruncho pequeno	0,0494	0,8400	0,0034
13		C/Caruncho pequeno	0,0717	0,8400	0,0034
<b>Vigas Direitas</b>					
1		C/Caruncho pequeno	0,0495	0,8400	0,0034
2		C/Caruncho pequeno	0,0532	0,8400	0,0034
3		Sã	0,0580	0,8400	0,0034
5		Sã	0,0626	0,8400	0,0034
6		Sã	0,0568	0,8400	0,0034
7		C/Caruncho pequeno	0,0507	0,8400	0,0034
8	Degradada	Zonas sãs	0,0671	0,8400	0,0034
		Meio Vão	0,0411	0,8400	0,0034
		Apoios	0,0411	0,8400	0,0034
9		Sã	0,0617	0,8400	0,0034
10		C/Caruncho pequeno	0,0605	0,8400	0,0034
11		C/Caruncho pequeno	0,0398	0,8400	0,0034
12		C/Caruncho pequeno	0,0577	0,8400	0,0034
13		C/Caruncho pequeno	0,0520	0,8400	0,0034
<b>Viga central(avaliada no conjunto)</b>					
	Degradada	Zonas sãs	0,1015	0,8400	0,3626
		Meio Vão	0,0790	0,8400	0,3626
		Apoios	0,0790	0,8400	0,3626

## 8.C Estado limite último

### 8.C.1 Flexão simples com sobrecarga por atribuição de classes de resistência C18 e C35 aos elementos da estrutura

Vigas Esquerdas	Estado	Flexão									
		Psd (cargas permanentes) kN/m	Psd (cargas variáveis) kN/m	Kmod (ações permanentes)	Kmod (ações média duração)	w (m3)	$\gamma_M$	fm,k (kPa)	$\sigma_{md}/K_{mod}$	fm,k/gM	verificação
1	C/Caruncho pequeno	0,0741	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	8923,25	22884,62	0,39
2	C/Caruncho pequeno	0,0727	1,2600	0,6	0,8	0,0003	1,3	29750	6994,45	22884,62	0,31
3	Sã	0,0959	1,2600	0,6	0,8	0,0004	1,3	35000	4281,28	26923,08	0,16
4	Degradada	0,0563	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	18000	8526,37	13846,15	0,62
	Meio Vão	0,0420	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	18000	13068,13	13846,15	0,94
	Apotos	0,0420	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	Não é necessário verificar			
5	Ligeiramente Degradada	0,0775	1,2600	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	8026,60	26923,08	0,30
	Meio Vão	0,0742	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	35000	8568,83	26923,08	0,32
	Apotos	0,0742	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	Não é necessário verificar			
8	Sã	0,0713	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	35000	8089,43	26923,08	0,30
9	Sã	0,0576	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	18000	8639,47	13846,15	0,62
10	C/Caruncho pequeno	0,0689	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	9559,95	22884,62	0,42
11	C/Caruncho pequeno	0,0685	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	9362,38	22884,62	0,41
12	C/Caruncho pequeno	0,0609	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	15300	11259,17	11769,23	0,96
13	C/Caruncho pequeno	0,0693	1,2600	0,6	0,8	0,0003	1,3	29750	6436,37	22884,62	0,28

Vigas Direitas												
1	C/Caruncho pequeno	0,0610	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	2.5287,5	9.541,50	1.9451,92	0,49	
2	C/Caruncho pequeno	0,0526	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	13005	6629,86	10003,85	0,66	
3	Sã	0,0707	1,2600	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	5422,79	26923,08	0,20	
5	Sã	0,0759	1,2600	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	5702,11	26923,08	0,21	
6	Sã	0,0559	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	18000	6143,22	13846,15	0,44	
7	C/Caruncho pequeno	0,0624	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	7246,50	22884,62	0,32	
8	Zonas sãs	0,0651	1,2600	0,6	0,8	0,0003	1,3	18000	5393,34	13846,15	0,39	
	Degradada	0,0417	1,2600	0,6	0,8	0,0001	1,3	18000	10751,71	13846,15	0,78	
	Meio Vão	0,0417	1,2600	0,6	0,8	0,0001	1,3	18000	10751,71	13846,15	0,78	
9	Apoios	0,0417	1,2600	0,6	0,8	0,0001	1,3	Não é necessário verificar				
	Sã	0,0749	1,2600	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	5497,12	26923,08	0,20	
10	C/Caruncho pequeno	0,0735	1,2600	0,6	0,8	0,0003	1,3	2.5287,5	6201,16	19451,92	0,32	
11	C/Caruncho pequeno	0,0499	1,2600	0,6	0,8	0,0001	1,3	2.5287,5	13596,41	19451,92	0,70	
12	C/Caruncho pequeno	0,0703	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	2.5287,5	6966,38	19451,92	0,36	
13	C/Caruncho pequeno	0,0516	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	15300	9335,50	11769,23	0,79	
Viga central (avaliada no conjunto)												
8	Zonas sãs	0,5048	1,2600	0,6	0,8	0,0008	1,3	35000	4017,35	26923,08	0,15	
	Degradada	0,4792	1,2600	0,6	0,8	0,0005	1,3	35000	6061,11	26923,08	0,23	
	Meio Vão	0,4792	1,2600	0,6	0,8	0,0005	1,3	Não é necessário verificar				

### 8.C.2 Corte com sobrecarga por atribuição de classes de resistência C18 e C35 aos elementos da estrutura

		Corte					
Vigas Esquerdas	Estado	$\gamma_M$	$f_v, k$ (kPa)	$t_d/K_{mod}$	$f_m, k/gM$	verificação	
1	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	323,15	2223,08	0,15	
2	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	326,01	2223,08	0,15	
3	Sã	1,3	3400	231,76	2615,38	0,09	
4	Degradada	Zonas sãs	1,3	2000	367,45	1538,46	0,24
		Meio Vão	Não é necessário verificar				
		Apoios	1,3	2000	506,10	1538,46	0,33
5	Ligeiramente Degradada	Zonas sãs	1,3	3400	331,10	2615,38	0,13
		Meio Vão	Não é necessário verificar				
		Apoios	1,3	3400	346,81	2615,38	0,13
8	Sã	1,3	3400	353,21	2615,38	0,14	
9	Sã	1,3	2000	357,42	1538,46	0,23	
10	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	384,34	2223,08	0,17	
11	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	383,06	2223,08	0,17	
12	C/Caruncho pequeno	1,3	1700	427,43	1307,69	0,33	
13	C/Caruncho pequeno	1,3	28900	295,68	22230,77	0,01	
<b>Vigas Direitas</b>							
1	C/Caruncho pequeno	1,3	3400	359,07	2615,38	0,14	
2	C/Caruncho pequeno	1,3	2000	339,06	1538,46	0,22	
3	Sã	1,3	3400	304,28	2615,38	0,12	
5	Sã	1,3	3400	288,16	2615,38	0,11	
6	Sã	1,3	2000	316,40	1538,46	0,21	
7	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	361,35	2223,08	0,16	
8	Degradada	Zonas sãs	1,3	2000	271,13	1538,46	0,18
		Meio Vão	Não é necessário verificar				
		Apoios	1,3	2000	440,62	1538,46	0,29
9	Sã	1,3	3400	292,74	2615,38	0,11	
10	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	302,78	2223,08	0,14	
11	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	458,89	2223,08	0,21	
12	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	330,18	2223,08	0,15	
13	C/Caruncho pequeno	1,3	1700	402,52	1307,69	0,31	
<b>Viga central(avaliada no conjunto)</b>							
	Degradada	Zonas sãs	1,3	3400	225,72	2615,38	0,09
		Meio Vão	Não é necessário verificar				
		Apoios	1,3	3400	288,82	2615,38	0,11

### 8.C.3 Flexão simples sem sobrecarga por atribuição de classes de resistência C18 e C35 aos elementos da estrutura

Vigas Esquerdas	Estado	Flexão									
		Psd (cargas permanentes) kN/m	Psd (cargas variáveis) kN/m	Kmod (ações permanentes)	Kmod (ações média duração)	w (m3)	$\gamma_M$	fm,k (kPa)	$\sigma_{md}/K_{mod}$	fm,k/gM	verificação
1	C/Caruncho pequeno	0,0741	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	648,81	22884,62	0,03
2	C/Caruncho pequeno	0,0727	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	29750	499,36	22884,62	0,02
3	Sã	0,0959	0,0000	0,6	0,8	0,0004	1,3	35000	394,31	26923,08	0,01
4	Zonas sãs	0,0563	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	18000	479,06	13846,15	0,03
	Meio Vão	0,0420	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	18000	556,42	13846,15	0,04
	Apoios	0,0420	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	Não é necessário verificar			
5	Zonas sãs	0,0775	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	608,33	26923,08	0,02
	Meio Vão	0,0742	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	35000	623,50	26923,08	0,02
	Apoios	0,0742	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	Não é necessário verificar			
8	Sã	0,0713	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	35000	567,19	26923,08	0,02
9	Sã	0,0576	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	18000	496,02	13846,15	0,04
10	C/Caruncho pequeno	0,0689	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	649,84	22884,62	0,03
11	C/Caruncho pequeno	0,0685	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	632,67	22884,62	0,03
12	C/Caruncho pequeno	0,0609	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	15300	681,38	11769,23	0,06
13	C/Caruncho pequeno	0,0693	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	29750	439,86	22884,62	0,02

Vigas Direitas												
1	C/Caruncho pequeno	0,0610	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	578,64	22884,62	0,03	
2	C/Caruncho pequeno	0,0526	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	15300	349,27	11769,23	0,03	
3	Sã	0,0707	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	377,29	26923,08	0,01	
5	Sã	0,0759	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	424,17	26923,08	0,02	
6	Sã	0,0559	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	18000	342,88	13846,15	0,02	
7	C/Caruncho pequeno	0,0624	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	448,79	22884,62	0,02	
8	Degradada	0,0651	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	18000	347,65	13846,15	0,03	
	Meio Vão	0,0417	0,0000	0,6	0,8	0,0001	1,3	18000	454,42	13846,15	0,03	
	Apoios	0,0417	0,0000	0,6	0,8	0,0001	1,3	Não é necessário verificar				
9	Sã	0,0749	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	403,84	26923,08	0,01	
10	C/Caruncho pequeno	0,0735	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	29750	447,78	22884,62	0,02	
11	C/Caruncho pequeno	0,0499	0,0000	0,6	0,8	0,0001	1,3	29750	682,56	22884,62	0,03	
12	C/Caruncho pequeno	0,0703	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	482,53	22884,62	0,02	
13	C/Caruncho pequeno	0,0516	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	15300	482,93	11769,23	0,04	
Viga central(avaliada no conjunto)												
Degradada	Zonas sãs	0,1204	0,0000	0,6	0,8	0,0008	1,3	35000	333,52	26923,08	0,01	
	Meio Vão	0,0947	0,0000	0,6	0,8	0,0005	1,3	35000	403,05	26923,08	0,01	
	Apoios	0,0947	0,0000	0,6	0,8	0,0005	1,3	Não é necessário verificar				

Vigas Direitas												
1	Sã	0,0610	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	578,64	22884,62	0,03	0,03
2	Sã	0,0526	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	15300	349,27	11769,23	0,03	0,03
3	Sã	0,0707	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	377,29	26923,08	0,01	0,01
4	Sã	0,0645	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	35000	457,75	26923,08	0,02	0,02
5	Sã	0,0759	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	424,17	26923,08	0,02	0,02
6	Sã	0,0559	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	18000	342,88	13846,15	0,02	0,02
7	Sã	0,0624	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	448,79	22884,62	0,02	0,02
8	Zonas sãs	0,0651	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	18000	347,65	13846,15	0,03	0,03
	Meio Vão	0,0417	0,0000	0,6	0,8	0,0001	1,3	18000	454,42	13846,15	0,03	0,03
	Apoio Pré-dimens.	0,0651	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	Não é necessário verificar				
	Apoios	0,0417	0,0000	0,6	0,8	0,0001	1,3	Não é necessário verificar				
9	Sã	0,0749	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	403,84	26923,08	0,01	0,01
10	Sã	0,0735	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	29750	447,78	22884,62	0,02	0,02
11	Sã	0,0499	0,0000	0,6	0,8	0,0001	1,3	29750	682,56	22884,62	0,03	0,03
12	Sã	0,0703	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	482,53	22884,62	0,02	0,02
13	Sã	0,0516	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	15300	482,93	11769,23	0,04	0,04
Viga central(avaliada no conjunto)												
Degradada	Zonas sãs	0,1204	0,0000	0,6	0,8	0,0008	1,3	35000	333,52	26923,08	0,01	0,01
	Meio Vão	0,0947	0,0000	0,6	0,8	0,0005	1,3	35000	403,05	26923,08	0,01	0,01
	Apoio Pré-dimens.	0,1204	0,0000	0,6	0,8	0,0008	1,3	Não é necessário verificar				
	Apoios	0,0947	0,0000	0,6	0,8	0,0005	1,3	Não é necessário verificar				

### 8.C.4 Corte sem sobrecarga por atribuição de classes de resistência C18 e C35 aos elementos da estrutura

		Corte					
Vigas Esquerdas	Estado	$\gamma_M$	$f_v, k$ (kPa)	$t_d/K_{mod}$	$f_m, k/gM$	verificação	
1	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	2,39	2223,08	0,001	
2	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	1,82	2223,08	0,001	
3	Sã	1,3	3400	2,03	2615,38	0,001	
4	Degradada	Zonas sãs	1,3	2000	1,55	1538,46	0,001
		Meio Vão	Não é necessário verificar				
		Apoios	1,3	2000	1,30	1538,46	0,001
5	Ligeiramente Degradada	Zonas sãs	1,3	3400	2,18	2615,38	0,001
		Meio Vão	Não é necessário verificar				
		Apoios	1,3	3400	2,14	2615,38	0,001
8	Sã	1,3	3400	1,91	2615,38	0,001	
9	Sã	1,3	2000	1,65	1538,46	0,001	
10	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	2,01	2223,08	0,001	
11	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	1,96	2223,08	0,001	
12	C/Caruncho pequeno	1,3	1700	1,89	1307,69	0,001	
13	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	1,77	2223,08	0,001	
<b>Vigas Direitas</b>							
1	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	1,91	2223,08	0,001	
2	C/Caruncho pequeno	1,3	1700	1,22	1307,69	0,001	
3	Sã	1,3	3400	1,47	2615,38	0,001	
5	Sã	1,3	3400	1,75	2615,38	0,001	
6	Sã	1,3	2000	1,29	1538,46	0,001	
7	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	1,47	2223,08	0,001	
8	Degradada	Zonas sãs	1,3	2000	1,52	1538,46	0,001
		Meio Vão	Não é necessário verificar				
		Apoios	1,3	2000	1,22	1538,46	0,001
9	Sã	1,3	3400	1,64	2615,38	0,001	
10	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	1,76	2223,08	0,001	
11	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	1,76	2223,08	0,001	
12	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	1,74	2223,08	0,001	
13	C/Caruncho pequeno	1,3	1700	1,42	1307,69	0,001	
<b>Viga central(avaliada no conjunto)</b>							
	Degradada	Zonas sãs	1,3	3400	1,81	2615,38	0,001
		Meio Vão	Não é necessário verificar				
		Apoios	1,3	3400	1,70	2615,38	0,001

### 8.C.5 Flexão simples com sobrecarga e com massa volúmica obtida experimentalmente

Vigas Esquerdas	Estado	Flexão									
		Psd (cargas permanentes) kN/m	Psd (cargas variáveis) kN/m	Kmod (acções permanentes)	Kmod (acções média duração)	w (m3)	$\gamma_M$	fm,k (kPa)	$\sigma_{md}/K_{mod}$	fm,k/gM	verificação
1	C/Caruncho pequeno	0,0868	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	9034,79	22884,62	0,39
2	C/Caruncho pequeno	0,0851	1,2600	0,6	0,8	0,0003	1,3	29750	7080,19	22884,62	0,31
3	Sã	0,1126	1,2600	0,6	0,8	0,0004	1,3	35000	4350,07	26923,08	0,16
4	Zonas sãs	0,0818	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	18000	8744,16	13846,15	0,63
	Meio Vão	0,0606	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	18000	13313,57	13846,15	0,96
	Apoios	0,0606	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	Não é necessário verificar			
5	Ligeiramente Degradada	0,0909	1,2600	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	8131,48	26923,08	0,30
	Meio Vão	0,0869	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	35000	8676,02	26923,08	0,32
	Apoios	0,0869	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	Não é necessário verificar			
8	Sã	0,0835	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	35000	8186,69	26923,08	0,30
9	Sã	0,0838	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	18000	8865,41	13846,15	0,64
10	C/Caruncho pequeno	0,0807	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	9671,12	22884,62	0,42
11	C/Caruncho pequeno	0,0802	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	9470,57	22884,62	0,41
12	C/Caruncho pequeno	0,0712	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	15300	11374,65	11769,23	0,97
13	C/Caruncho pequeno	0,1014	1,2600	0,6	0,8	0,0003	1,3	29750	6639,64	22884,62	0,29

Vigas Direitas												
1	C/Caruncho pequeno	0,0714	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	9639,58	22884,62	0,42	
2	C/Caruncho pequeno	0,0763	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	15300	6787,66	11769,23	0,58	
3	Sã	0,0828	1,2600	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	5487,45	26923,08	0,20	
5	Sã	0,0890	1,2600	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	5775,15	26923,08	0,21	
6	Sã	0,0812	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	18000	6299,00	13846,15	0,45	
7	C/Caruncho pequeno	0,0730	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	7322,71	22884,62	0,32	
8	Zonas sãs	0,0951	1,2600	0,6	0,8	0,0003	1,3	18000	5553,27	13846,15	0,40	
	Meio Vão	0,0601	1,2600	0,6	0,8	0,0001	1,3	18000	10951,97	13846,15	0,79	
	Apóios	0,0601	1,2600	0,6	0,8	0,0001	1,3	Não é necessário verificar				
9	Sã	0,0878	1,2600	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	5566,60	26923,08	0,21	
10	C/Caruncho pequeno	0,0862	1,2600	0,6	0,8	0,0003	1,3	29750	6278,11	22884,62	0,27	
11	C/Caruncho pequeno	0,0583	1,2600	0,6	0,8	0,0001	1,3	29750	13710,06	22884,62	0,60	
12	C/Caruncho pequeno	0,0824	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	7049,05	22884,62	0,31	
13	C/Caruncho pequeno	0,0748	1,2600	0,6	0,8	0,0002	1,3	15300	9553,29	11769,23	0,81	
Viga central(avaliada no conjunto)												
De gradada	Zonas sãs	0,6266	1,2600	0,6	0,8	0,0008	1,3	35000	4354,75	26923,08	0,16	
	Meio Vão	0,5962	1,2600	0,6	0,8	0,0005	1,3	35000	6559,33	26923,08	0,24	
	Apóios	0,5962	1,2600	0,6	0,8	0,0005	1,3	Não é necessário verificar				

## 8.C.6 Corte com sobrecarga e com massa volúmica obtida experimentalmente

		Corte					
Vigas Esquerdas	Estado	$\gamma_M$	$f_v, k$ (kPa)	$t_d/K_{mod}$	$f_m, k/gM$	verificação	
1	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	323,56	2223,08	0,15	
2	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	326,32	2223,08	0,15	
3	Sã	1,3	3400	232,11	2615,38	0,09	
4	Degradada	Zonas sãs	1,3	2000	368,15	1538,46	0,24
		Meio Vão	Não é necessário verificar				
		Apoios	1,3	2000	506,67	1538,46	0,33
5	Ligeiramente Degradada	Zonas sãs	1,3	3400	331,47	2615,38	0,13
		Meio Vão	Não é necessário verificar				
		Apoios	1,3	3400	347,18	2615,38	0,13
8	Sã	1,3	3400	353,53	2615,38	0,14	
9	Sã	1,3	2000	358,17	1538,46	0,23	
10	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	384,69	2223,08	0,17	
11	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	383,40	2223,08	0,17	
12	C/Caruncho pequeno	1,3	1700	427,76	1307,69	0,33	
13	C/Caruncho pequeno	1,3	3400	296,49	2615,38	0,11	
<b>Vigas Direitas</b>							
1	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	359,39	2223,08	0,16	
2	C/Caruncho pequeno	1,3	1700	339,62	1307,69	0,26	
3	Sã	1,3	3400	304,53	2615,38	0,12	
5	Sã	1,3	3400	288,47	2615,38	0,11	
6	Sã	1,3	2000	316,99	1538,46	0,21	
7	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	361,60	2223,08	0,16	
8	Degradada	Zonas sãs	1,3	2000	271,83	1538,46	0,18
		Meio Vão	Não é necessário verificar				
		Apoios	1,3	2000	441,16	1538,46	0,29
9	Sã	1,3	3400	293,02	2615,38	0,11	
10	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	303,08	2223,08	0,14	
11	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	459,19	2223,08	0,21	
12	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	330,47	2223,08	0,15	
13	C/Caruncho pequeno	1,3	1700	403,16	1307,69	0,31	
<b>Viga central(avaliada no conjunto)</b>							
	Degradada	Zonas sãs	1,3	3400	227,54	2615,38	0,09
		Meio Vão	Não é necessário verificar				
		Apoios	1,3	3400	290,92	2615,38	0,11

### 8.C.7 Flexão simples sem sobrecarga e com massa volúmica obtida experimentalmente

		Flexão									
Vigas Esquerdas	Estado	Psd (cargas permanentes) kN/m	Psd (cargas variáveis) kN/m	Kmod (ações permanentes)	Kmod (ações média duração)	w (m3)	$\gamma_M$	fm,k (kPa)	$\sigma_{md}/K_{mod}$	fm,k/gM	verificação
1	C/Caruncho pequeno	0,0868	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	760,35	22884,62	0,03
2	C/Caruncho pequeno	0,0851	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	29750	585,09	22884,62	0,03
3	Sã	0,1126	0,0000	0,6	0,8	0,0004	1,3	35000	463,10	26923,08	0,02
4	Zonas sãs	0,0818	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	18000	696,85	13846,15	0,05
	Meio Vão	0,0606	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	18000	801,86	13846,15	0,06
	Apoios	0,0606	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	Não é necessário verificar			
5	Zonas sãs	0,0909	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	713,21	26923,08	0,03
	Meio Vão	0,0869	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	35000	730,69	26923,08	0,03
	Apoios	0,0869	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	Não é necessário verificar			
8	Sã	0,0835	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	35000	664,44	26923,08	0,02
9	Sã	0,0838	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	18000	721,95	13846,15	0,05
10	C/Caruncho pequeno	0,0807	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	761,01	22884,62	0,03
11	C/Caruncho pequeno	0,0802	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	740,85	22884,62	0,03
12	C/Caruncho pequeno	0,0712	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	15300	796,86	11769,23	0,07
13	C/Caruncho pequeno	0,1014	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	29750	643,12	22884,62	0,03

Vigas Direitas												
1	C/Caruncho pequeno	0,0714	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	676,73	22884,62	0,03	
2	C/Caruncho pequeno	0,0763	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	15300	507,07	11769,23	0,04	
3	Sã	0,0828	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	441,94	26923,08	0,02	
5	Sã	0,0890	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	497,20	26923,08	0,02	
6	Sã	0,0812	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	18000	498,65	13846,15	0,04	
7	C/Caruncho pequeno	0,0730	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	525,00	22884,62	0,02	
8	Zonas sãs	0,0951	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	18000	507,58	13846,15	0,04	
	Meio Vão	0,0601	0,0000	0,6	0,8	0,0001	1,3	18000	654,68	13846,15	0,05	
	Apoios	0,0601	0,0000	0,6	0,8	0,0001	1,3	Não é necessário verificar				
9	Sã	0,0878	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	35000	473,32	26923,08	0,02	
10	C/Caruncho pequeno	0,0862	0,0000	0,6	0,8	0,0003	1,3	29750	524,72	22884,62	0,02	
11	C/Caruncho pequeno	0,0583	0,0000	0,6	0,8	0,0001	1,3	29750	796,20	22884,62	0,03	
12	C/Caruncho pequeno	0,0824	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	29750	565,20	22884,62	0,02	
13	C/Caruncho pequeno	0,0748	0,0000	0,6	0,8	0,0002	1,3	15300	700,72	11769,23	0,06	
Viga central (avaliada no conjunto)												
	Zonas sãs	0,1416	0,0000	0,6	0,8	0,0008	1,3	35000	392,30	26923,08	0,01	
	Meio Vão	0,1112	0,0000	0,6	0,8	0,0005	1,3	35000	473,33	26923,08	0,02	
	Apoios	0,1112	0,0000	0,6	0,8	0,0005	1,3	Não é necessário verificar				

## 8.C.8 Corte sem sobrecarga e com massa volúmica obtida experimentalmente

		Corte					
Vigas Esquerdas	Estado	$\gamma_M$	$f_v, k$ (kPa)	$t_d/K_{mod}$	$f_m, k/gM$	verificação	
1	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	2,80	2223,08	0,001	
2	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	2,13	2223,08	0,001	
3	Sã	1,3	3400	2,38	2615,38	0,001	
4	Degradada	Zonas sãs	1,3	2000	2,25	1538,46	0,001
		Meio Vão	Não é necessário verificar				
		Apoios	1,3	2000	1,88	1538,46	0,001
5	Ligeiramente Degradada	Zonas sãs	1,3	3400	2,56	2615,38	0,001
		Meio Vão	Não é necessário verificar				
		Apoios	1,3	3400	2,50	2615,38	0,001
8	Sã	1,3	3400	2,23	2615,38	0,001	
9	Sã	1,3	2000	2,40	1538,46	0,002	
10	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	2,35	2223,08	0,001	
11	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	2,30	2223,08	0,001	
12	C/Caruncho pequeno	1,3	1700	2,21	1307,69	0,002	
13	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	2,58	2223,08	0,001	
<b>Vigas Direitas</b>							
1	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	2,24	2223,08	0,001	
2	C/Caruncho pequeno	1,3	1700	1,77	1307,69	0,001	
3	Sã	1,3	3400	1,72	2615,38	0,001	
5	Sã	1,3	3400	2,05	2615,38	0,001	
6	Sã	1,3	2000	1,87	1538,46	0,001	
7	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	1,72	2223,08	0,001	
8	Degradada	Zonas sãs	1,3	2000	2,22	1538,46	0,001
		Meio Vão	Não é necessário verificar				
		Apoios	1,3	2000	1,76	1538,46	0,001
9	Sã	1,3	3400	1,92	2615,38	0,001	
10	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	2,06	2223,08	0,001	
11	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	2,06	2223,08	0,001	
12	C/Caruncho pequeno	1,3	2890	2,03	2223,08	0,001	
13	C/Caruncho pequeno	1,3	1700	2,06	1307,69	0,002	
<b>Viga central (avaliada no conjunto)</b>							
	Degradada	Zonas sãs	1,3	3400	2,12	2615,38	0,001
		Meio Vão	Não é necessário verificar				
		Apoios	1,3	3400	2,00	2615,38	0,001

## 8.D Estado limite de utilização

## 8.D.1 Deformação com sobrecarga por atribuição de classes de resistência C18 e C35 aos elementos da estrutura

		Deformação						
Vigas Esquerdas	Estado	Ps <sub>d</sub> (comb. Raras) kN/m	I (m <sup>4</sup> )	w <sub>inst</sub> (mm)	w <sub>fin</sub> (mm)	L/250 (mm)	verificação	
1	C/Caruncho pequeno	0,8949	1,1423E-05	6,6653	12,00	11,66	1,03	
2	C/Caruncho pequeno	0,8938	1,8165E-05	4,0168	7,23	11,54	0,63	
3	Sã	0,9110	3,0824E-05	1,6710	3,01	10,96	0,27	
4	Degradada	Zonas sãs	0,8817	1,6941E-05	7,1622	12,89	12,49	1,03
		Meio Vão	0,8711	9,6685E-06	12,3996	22,32	12,49	1,79
		Apoios	0,8711	9,6685E-06	Não é necessário verificar			
5	Ligeiramente Degradada	Zonas sãs	0,8974	1,8128E-05	4,7894	8,62	12,54	0,69
		Meio Vão	0,8949	1,6560E-05	5,2284	9,41	12,54	0,75
		Apoios	0,8949	1,6560E-05	Não é necessário verificar			
8	Sã	0,8928	1,7545E-05	4,4802	8,06	12,25	0,66	
9	Sã	0,8826	1,5931E-05	7,5274	13,55	12,45	1,09	
10	C/Caruncho pequeno	0,8911	1,5768E-05	7,1229	12,82	12,86	1,00	
11	C/Caruncho pequeno	0,8907	1,5890E-05	6,7888	12,22	12,74	0,96	
12	C/Caruncho pequeno	0,8851	1,1502E-05	12,6030	22,69	12,53	1,81	
13	C/Caruncho pequeno	0,8913	2,4957E-05	4,1016	7,38	12,57	0,59	
Vigas Direitas								
1	C/Caruncho pequeno	0,8852	8,0069E-06	6,2802	11,30	10,54	1,07	
2	C/Caruncho pequeno	0,8789	1,6174E-05	3,2885	5,92	10,71	0,55	
3	Sã	0,8923	2,0962E-05	1,9969	3,59	10,46	0,34	
5	Sã	0,8963	1,9308E-05	2,3699	4,27	10,69	0,40	
6	Sã	0,8814	1,7530E-05	3,6913	6,64	10,68	0,62	
7	C/Caruncho pequeno	0,8862	1,5428E-05	3,7050	6,67	10,88	0,61	
8	Degradada	Zonas sãs	0,8882	2,0404E-05	3,3223	5,98	10,78	0,55
		Meio Vão	0,8709	7,9846E-06	8,3242	14,98	10,78	1,39
		Apoios	0,8709	7,9846E-06	Não é necessário verificar			
9	Sã	0,8955	2,1191E-05	2,1737	3,91	10,71	0,37	
10	C/Caruncho pequeno	0,8945	1,7896E-05	3,1955	5,75	10,86	0,53	
11	C/Caruncho pequeno	0,8770	5,3821E-06	10,3867	18,70	10,85	1,72	
12	C/Caruncho pequeno	0,8921	1,7302E-05	3,8587	6,95	11,29	0,62	
13	C/Caruncho pequeno	0,8782	1,5184E-05	9,2328	16,62	12,45	1,34	
Viga central (avaliada no conjunto)								
	Degradada	Zonas sãs	1,2139	1,1265E-04	1,2816	2,31	13,20	0,17
		Meio Vão	1,1949	6,1342E-05	2,3167	4,17	13,20	0,32
		Apoios	1,1949	6,1342E-05	Não é necessário verificar			

### 8.D.2 Deformação sem sobrecarga por atribuição de classes de resistência C18 e C35 aos elementos da estrutura

Vigas Esquerdas	Estado	Psd (comb. Raras) kN/m	I (m4)	Deformação			verificação	
				winst (mm)	wfin (mm)	L/250 (mm)		
1	C/Caruncho pequeno	0,0549	1,1423E-05	0,41	0,74	11,66	0,06	
2	C/Caruncho pequeno	0,0538	1,8165E-05	0,24	0,44	11,54	0,04	
3	Sã	0,0710	3,0824E-05	0,13	0,23	10,96	0,02	
4	Degradada	Zonas sãs	0,0417	1,6941E-05	0,34	0,61	12,49	0,05
		Meio Vão	0,0311	9,6685E-06	0,44	0,80	12,49	0,06
		Apoios	0,0311	9,6685E-06	Não é necessário verificar			
5	Ligeiramente Degradada	Zonas sãs	0,0574	1,8128E-05	0,31	0,55	12,54	0,04
		Meio Vão	0,0549	1,6560E-05	0,32	0,58	12,54	0,05
		Apoios	0,0549	1,6560E-05	Não é necessário verificar			
8	Sã	0,0528	1,7545E-05	0,26	0,48	12,25	0,04	
9	Sã	0,0426	1,5931E-05	0,36	0,65	12,45	0,05	
10	C/Caruncho pequeno	0,0511	1,5768E-05	0,41	0,73	12,86	0,06	
11	C/Caruncho pequeno	0,0507	1,5890E-05	0,66	1,18	12,74	0,09	
12	C/Caruncho pequeno	0,0451	1,1502E-05	0,64	1,16	12,53	0,09	
13	C/Caruncho pequeno	0,0513	2,4957E-05	0,24	0,43	12,57	0,03	
<b>Vigas Direitas</b>								
1	C/Caruncho pequeno	0,0452	8,0069E-06	0,32	0,58	10,54	0,05	
2	C/Caruncho pequeno	0,0389	1,6174E-05	0,21	0,38	10,71	0,04	
3	Sã	0,0523	2,0962E-05	0,12	0,21	10,46	0,02	
5	Sã	0,0563	1,9308E-05	0,15	0,27	10,69	0,03	
6	Sã	0,0414	1,7530E-05	0,17	0,31	10,68	0,03	
7	C/Caruncho pequeno	0,0462	1,5428E-05	0,19	0,35	10,88	0,03	
8	Degradada	Zonas sãs	0,0482	2,0404E-05	0,18	0,32	10,78	0,03
		Meio Vão	0,0309	7,9846E-06	0,30	0,53	10,78	0,05
		Apoios	0,0309	7,9846E-06	Não é necessário verificar			
9	Sã	0,0555	2,1191E-05	0,13	0,24	10,71	0,02	
10	C/Caruncho pequeno	0,0545	1,7896E-05	0,19	0,35	10,86	0,03	
11	C/Caruncho pequeno	0,0370	5,3821E-06	0,44	0,79	10,85	0,07	
12	C/Caruncho pequeno	0,0521	1,7302E-05	0,23	0,41	11,29	0,04	
13	C/Caruncho pequeno	0,0382	1,5184E-05	0,40	0,72	12,45	0,06	
<b>Viga central(avaliada no conjunto)</b>								
	Degradada	Zonas sãs	0,2881	1,1265E-04	0,30	0,55	13,20	0,04
		Meio Vão	0,2766	6,1342E-05	0,54	0,97	13,20	0,07
		Apoios	0,2839	6,1342E-05	Não é necessário verificar			

### 8.D.3 Deformação com sobrecarga e com massa volúmica obtida experimentalmente

		Deformação						
Vigas Esquerdas	Estado	Psd (comb. Raras) kN/m	I (m4)	winst (mm)	wfin (mm)	L/250 (mm)	verificação	
1	C/Caruncho pequeno	0,9043	1,1423E-05	6,7356	12,12	11,66	1,04	
2	C/Caruncho pequeno	0,9031	1,8165E-05	4,0583	7,30	11,54	0,63	
3	Sã	0,9234	3,0824E-05	1,6937	3,05	10,96	0,28	
4	Degradada	Zonas sãs	0,9006	1,6941E-05	7,3161	13,17	12,49	1,05
		Meio Vão	0,8849	9,6685E-06	12,5951	22,67	12,49	1,81
		Apoios	0,8849	9,6685E-06	Não é necessário verificar			
5	Ligeiramente Degradada	Zonas sãs	0,9073	1,8128E-05	4,8423	8,72	12,54	0,70
		Meio Vão	0,9044	1,6560E-05	5,2836	9,51	12,54	0,76
		Apoios	0,9044	1,6560E-05	Não é necessário verificar			
8	Sã	0,9018	1,7545E-05	4,5257	8,15	12,25	0,67	
9	Sã	0,9021	1,5931E-05	7,6930	13,85	12,45	1,11	
10	C/Caruncho pequeno	0,8998	1,5768E-05	7,1927	12,95	12,86	1,01	
11	C/Caruncho pequeno	0,8994	1,5890E-05	6,8549	12,34	12,74	0,97	
12	C/Caruncho pequeno	0,8927	1,1502E-05	12,7118	22,88	12,53	1,83	
13	C/Caruncho pequeno	0,9151	2,4957E-05	4,2108	7,58	12,57	0,60	
<b>Vigas Direitas</b>								
1	C/Caruncho pequeno	0,8929	8,0069E-06	6,3345	11,40	10,54	1,08	
2	C/Caruncho pequeno	0,8965	1,6174E-05	4,8452	8,72	10,71	0,81	
3	Sã	0,9013	2,0962E-05	2,0169	3,63	10,46	0,35	
5	Sã	0,9059	1,9308E-05	2,3956	4,31	10,69	0,40	
6	Sã	0,9002	1,7530E-05	3,7701	6,79	10,68	0,64	
7	C/Caruncho pequeno	0,8941	1,5428E-05	3,7379	6,73	10,88	0,62	
8	Degradada	Zonas sãs	0,9104	2,0404E-05	3,4053	6,13	10,78	0,57
		Meio Vão	0,8845	7,9846E-06	8,4543	15,22	10,78	1,41
		Apoios	0,8845	7,9846E-06	Não é necessário verificar			
9	Sã	0,9051	2,1191E-05	2,1969	3,95	10,71	0,37	
10	C/Caruncho pequeno	0,9038	1,7896E-05	3,2290	5,81	10,86	0,54	
11	C/Caruncho pequeno	0,8832	5,3821E-06	10,4597	18,83	10,85	1,74	
12	C/Caruncho pequeno	0,9010	1,7302E-05	3,8973	7,02	11,29	0,62	
13	C/Caruncho pequeno	0,8954	1,5184E-05	9,4138	16,94	12,45	1,36	
<b>Viga central (avaliada no conjunto)</b>								
	Degradada	Zonas sãs	1,3041	1,1265E-04	1,3768	2,48	13,20	0,19
		Meio Vão	1,2817	6,1342E-05	2,4848	4,47	13,20	0,34
		Apoios	1,2817	6,1342E-05	Não é necessário verificar			

### 8.D.4 Deformação sem sobrecarga e com massa volúmica obtida experimentalmente

		Deformação						
Vigas Esquerdas	Estado	Psd (comb. Raras) kN/m	I (m4)	winst (mm)	wfin (mm)	L/250 (mm)	verificação	
1	C/Caruncho pequeno	0,0643	1,1423E-05	0,48	0,86	11,66	0,07	
2	C/Caruncho pequeno	0,0631	1,8165E-05	0,28	0,51	11,54	0,04	
3	Sã	0,0834	3,0824E-05	0,15	0,28	10,96	0,03	
4	Degradada	Zonas sãs	0,0606	1,6941E-05	0,49	0,89	12,49	0,07
		Meio Vão	0,0449	9,6685E-06	0,64	1,15	12,49	0,09
		Apoios	0,0449	9,6685E-06	Não é necessário verificar			
5	Ligeiramente Degradada	Zonas sãs	0,0673	1,8128E-05	0,36	0,65	12,54	0,05
		Meio Vão	0,0644	1,6560E-05	0,38	0,68	12,54	0,05
		Apoios	0,0644	1,6560E-05	Não é necessário verificar			
8	Sã	0,0618	1,7545E-05	0,31	0,56	12,25	0,05	
9	Sã	0,0621	1,5931E-05	0,53	0,95	12,45	0,08	
10	C/Caruncho pequeno	0,0598	1,5768E-05	0,48	0,86	12,86	0,07	
11	C/Caruncho pequeno	0,0594	1,5890E-05	0,45	0,81	12,74	0,06	
12	C/Caruncho pequeno	0,0527	1,1502E-05	0,75	1,35	12,53	0,11	
13	C/Caruncho pequeno	0,0751	2,4957E-05	0,35	0,62	12,57	0,05	
<b>Vigas Direitas</b>								
1	C/Caruncho pequeno	0,0529	8,0069E-06	0,37	0,67	10,54	0,06	
2	C/Caruncho pequeno	0,0565	1,6174E-05	0,31	0,55	10,71	0,05	
3	Sã	0,0613	2,0962E-05	0,14	0,25	10,46	0,02	
5	Sã	0,0659	1,9308E-05	0,17	0,31	10,69	0,03	
6	Sã	0,0602	1,7530E-05	0,25	0,45	10,68	0,04	
7	C/Caruncho pequeno	0,0541	1,5428E-05	0,23	0,41	10,88	0,04	
8	Degradada	Zonas sãs	0,0704	2,0404E-05	0,26	0,47	10,78	0,04
		Meio Vão	0,0445	7,9846E-06	0,43	0,77	10,78	0,07
		Apoios	0,0445	7,9846E-06	Não é necessário verificar			
9	Sã	0,0651	2,1191E-05	0,16	0,28	10,71	0,03	
10	C/Caruncho pequeno	0,0638	1,7896E-05	0,23	0,41	10,86	0,04	
11	C/Caruncho pequeno	0,0432	5,3821E-06	0,51	0,92	10,85	0,08	
12	C/Caruncho pequeno	0,0610	1,7302E-05	0,26	0,48	11,29	0,04	
13	C/Caruncho pequeno	0,0554	1,5184E-05	0,58	1,05	12,45	0,08	
<b>Viga central(avaliada no conjunto)</b>								
	Degradada	Zonas sãs	0,3626	1,1265E-04	0,38	0,69	13,20	0,05
		Meio Vão	0,3491	6,1342E-05	0,68	1,22	13,20	0,09
		Apoios	0,3577	6,1342E-05	Não é necessário verificar			



# Peças desenhadas

## Lista de Peças desenhadas

1.Planta da estrutura

2.Vista geral da estrutura

Cálculo do KAR marginal e total

3. Parte 1;

4. Parte2;

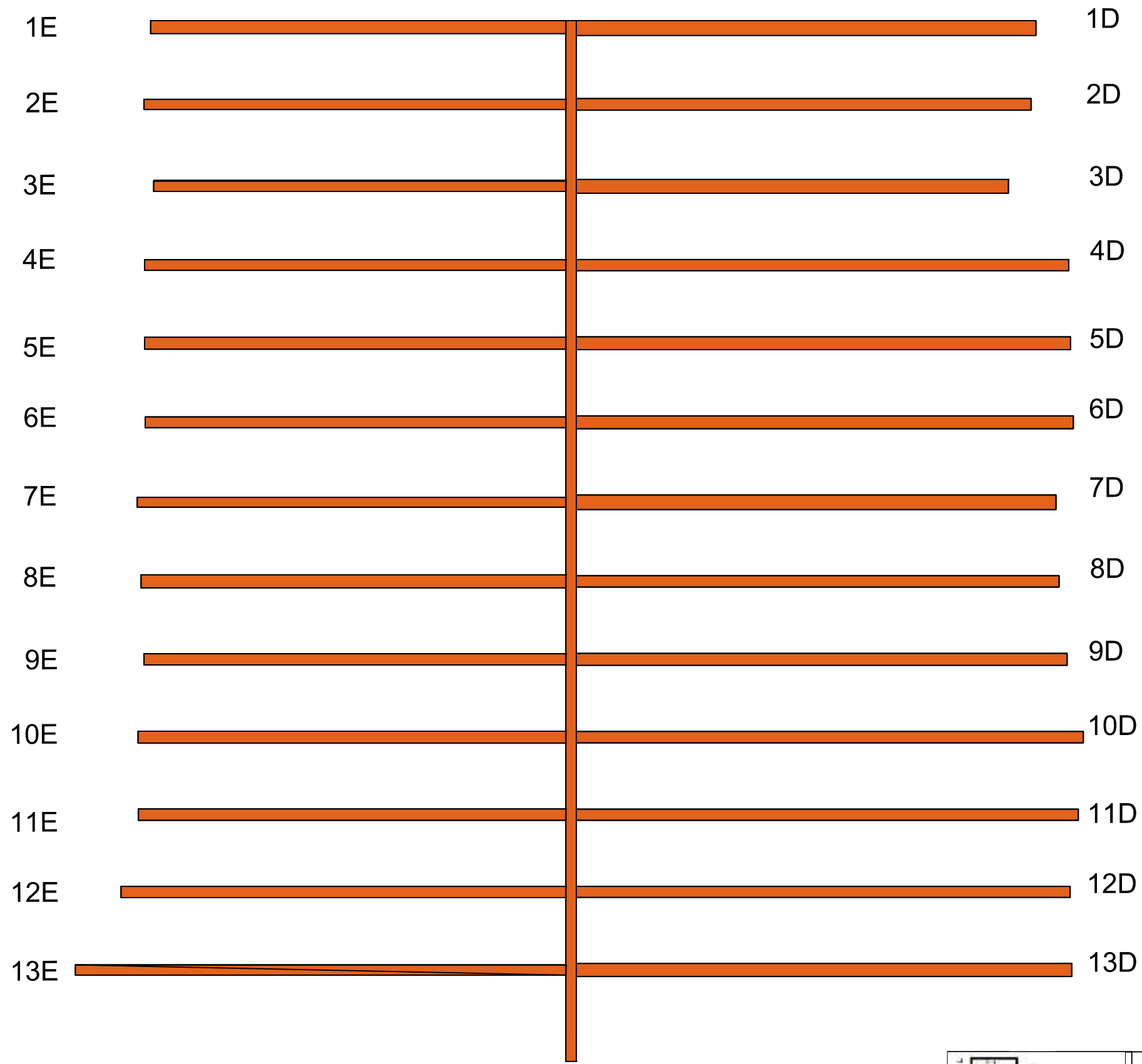
5. Parte 3;

6. Parte 4;



7. Parte 5;

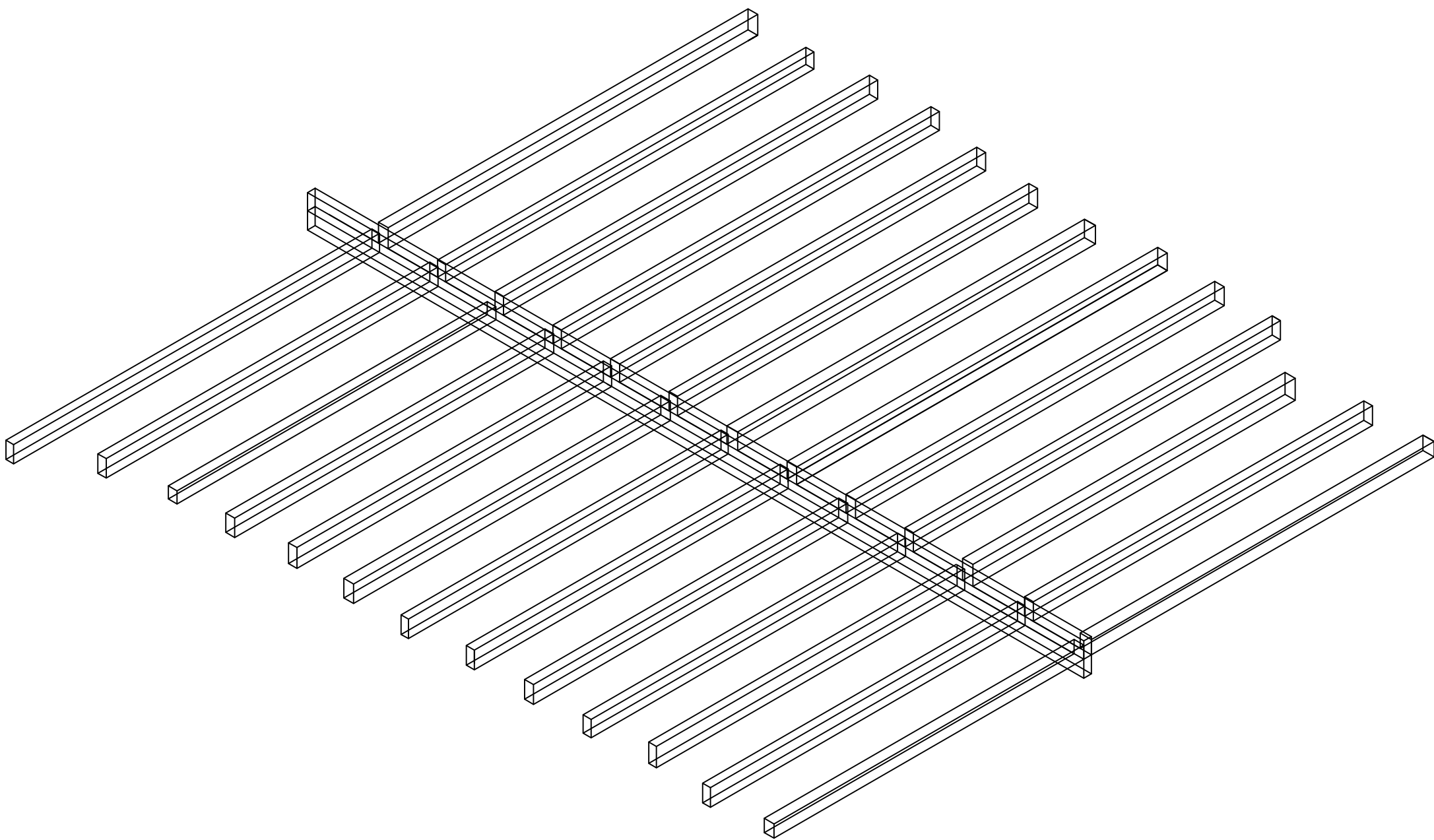
8. Parte 6:



9. Parte 7.

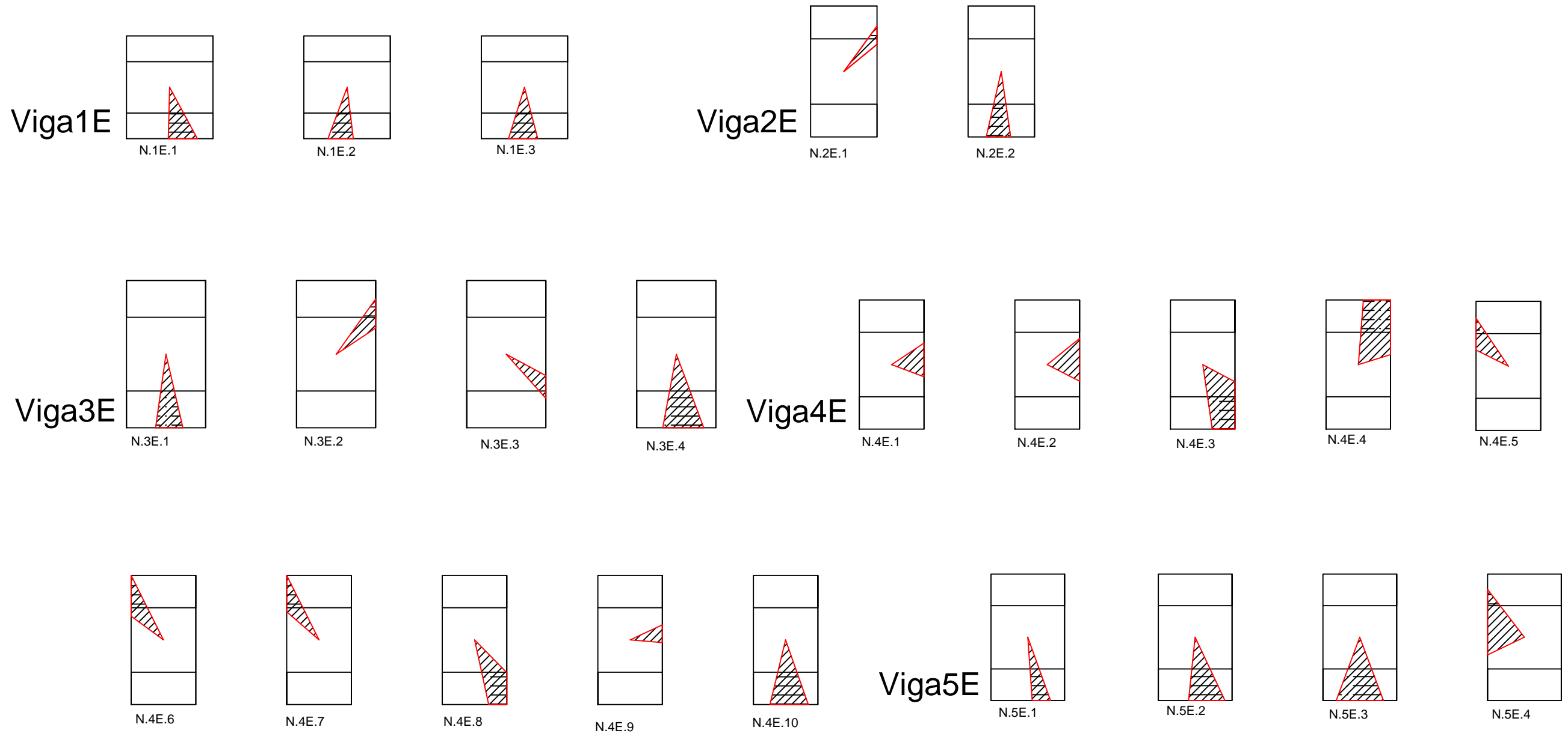




CI/CS

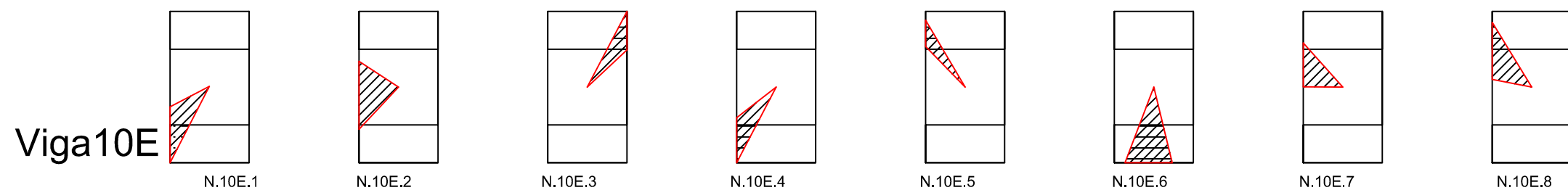
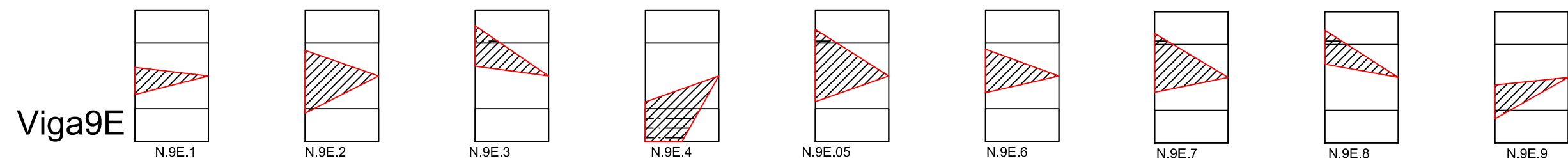
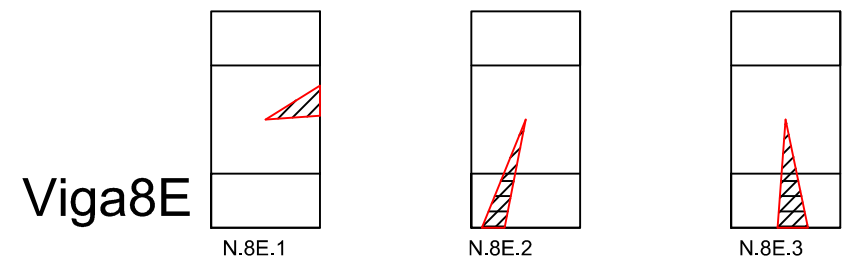
	Nome: Diana Filipa da Palma de Araújo N° 36628		 ISEL-ADEC Instituto superior de Engenharia de Lisboa
	Trabalho Final de Mestrado <i>Avaliação de estruturas de madeira em serviço. Caso de estudo da Ermida da Ascensão de Cristo</i>		
Planta da Estrutura		Data Dezembro 2015	Desenho N°1





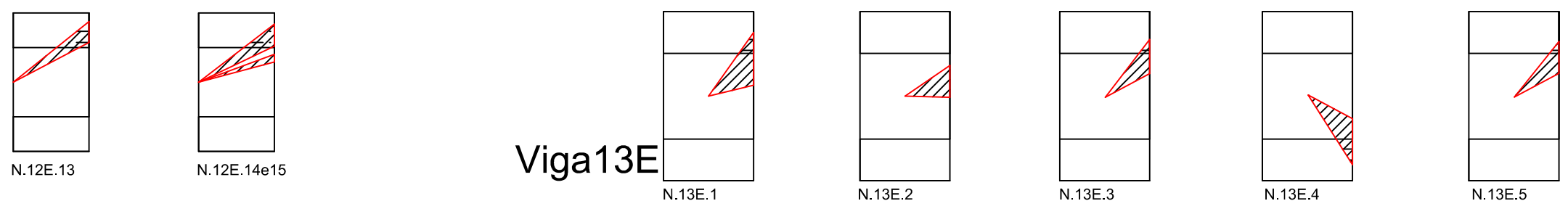
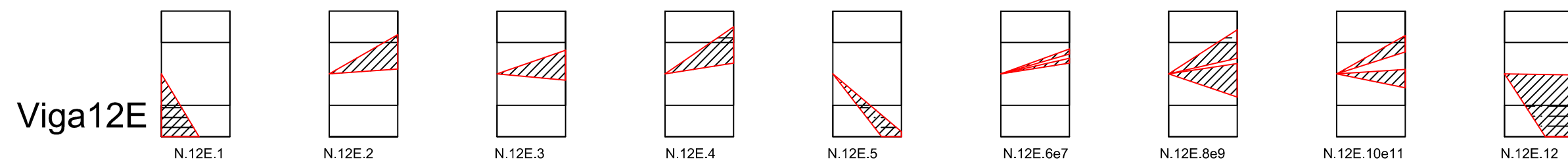
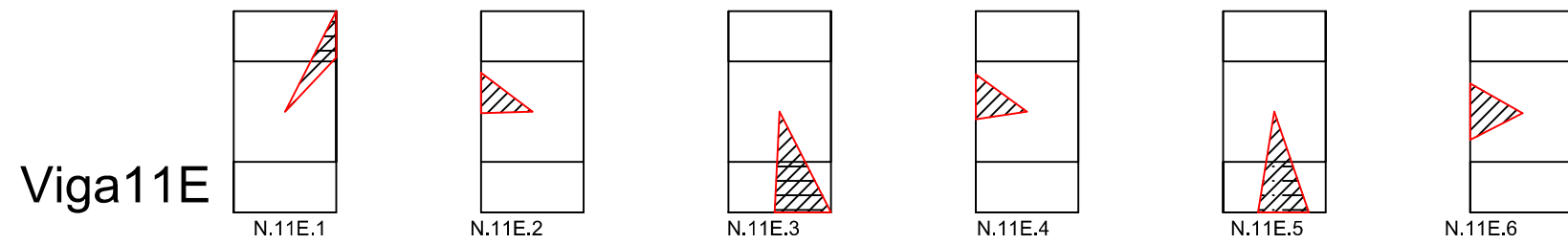
	<p>Nome: Diana Filipa da Palma de Araújo Nº 36628</p>		<p><b>ISEL-ADEC</b> Instituto superior de Engenharia de Lisboa</p>
<p><b>Trabalho Final de Mestrado</b> <i>Avaliação de estrutura de madeira em serviço. Caso de estudo da Ermida da Ascensão de Cristo</i></p>		<p><b>Escala</b> 1/ 30 <b>Formato</b> A3</p>	
<p>Vista geral da estrutura</p>		<p><b>Data</b> Dezembro 2015</p>	<p><b>Desenho</b> Nº2</p>





	Nome: Diana Filipa da Palma de Araújo Nº 36628		<b>ISEL-ADEC</b> Instituto superior de Engenharia de Lisboa	
	<b>Trabalho Final de Mestrado</b> <i>Avaliação de estruturas de madeira em serviço. Caso de estudo da Ermida da Ascensão de Cristo</i>		Escala 1/5 Formato A3	
Cálculo do KAR Marginal e Total - Parte 1			Data Dezembro 2015	Desenho Nº3



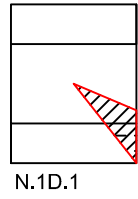
	Nome: Diana Filipa da Palma de Araújo N° 36628			<b>ISEL-ADEC</b> Instituto superior de Engenharia de Lisboa		
	<b>Trabalho Final de Mestrado</b> <i>Avaliação de estruturas de madeira em serviço. Caso de estudo da Ermida da Ascensão de Cristo</i>			<b>Escala</b> 1/5	<b>Formato</b> A3	
	Cálculo do KAR Marginal e Total - Parte 2			<b>Data</b> Dezembro 2015	<b>Desenho</b> N°4	



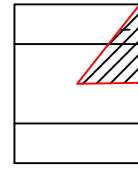
Viga13E

	<p>Nome: Diana Filipa da Palma de Araújo Nº 36628</p>		<p><b>ISEL-ADEC</b> Instituto superior de Engenharia de Lisboa</p>
<p><b>Trabalho Final de Mestrado</b> <i>Avaliação de estruturas de madeira em serviço. Caso de estudo da Ermida da Ascensão de Cristo</i></p>		<p><b>Escala</b> 1/5 <b>Formato</b> A3</p>	
<p>Cálculo do KAR Marginal e Total - Parte 3</p>		<p><b>Data</b> Dezembro 2015</p>	<p><b>Desenho</b> Nº5</p>

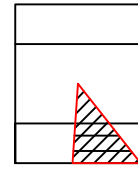
Viga1D



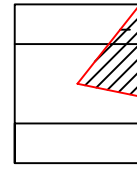
N.1D.1



N.1D.2

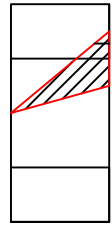


N.1D.3

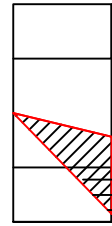


N.1D.4

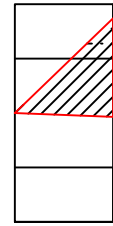
Viga2D



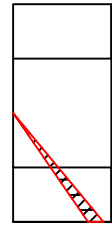
N.2D.1



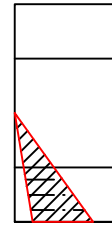
N.2D.2



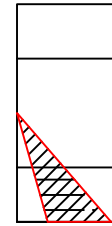
N.2D.3



N.2D.4

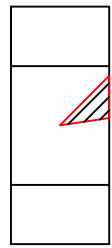


N.2D.5

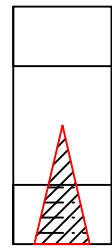


N.2D.6

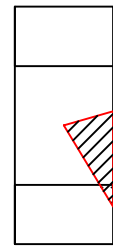
Viga3D



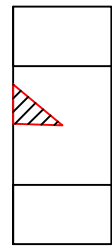
N.3D.1



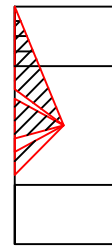
N.3D.2



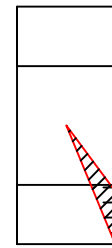
N.3D.3



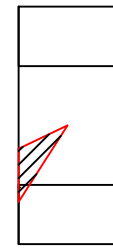
N.3D.4



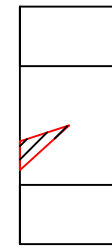
N.3D.5,6 e 7



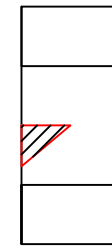
N.3D.8





N.3D.9



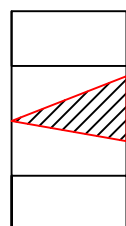
N.3D.10



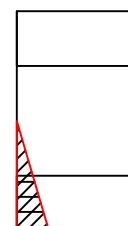
N.3D.11

	<p>Nome: Diana Filipa da Palma de Araújo Nº 36628</p>	 <p><b>ISEL-ADEC</b> Instituto superior de Engenharia de Lisboa</p>
<p><b>Trabalho Final de Mestrado</b> <i>Avaliação de estruturas de madeira em serviço. Caso de estudo da Ermida da Ascensão de Cristo</i></p>		<p><b>Escala</b> 1/5 <b>Formato</b> A3</p>
<p>Cálculo do KAR Marginal e Total - Parte 4</p>		<p><b>Data</b> Dezembro 2015</p> <p><b>Desenho</b> Nº6</p>

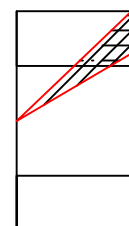
Viga5D



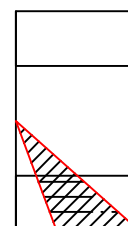
N.5D.1



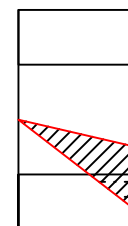
N.5D.2



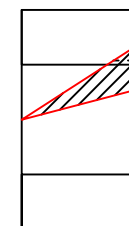
N.5D.3



N.5D.4



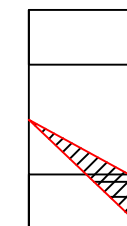
N.5D.5



N.5D.6

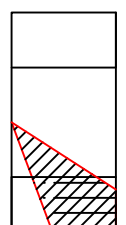


N.5D.7

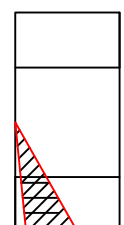


N.5D.8

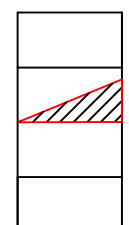
Viga6D



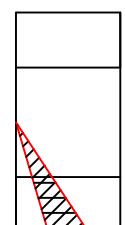
N.6D.1



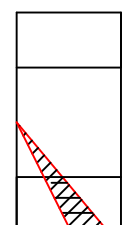
N.6D.2



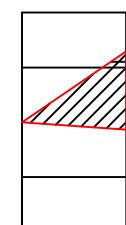
N.6D.3



N.6D.4



N.6D.5

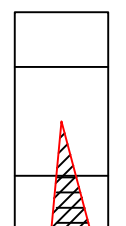


N.6D.6

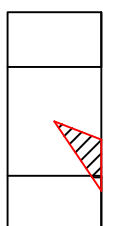


N.6D.7e8

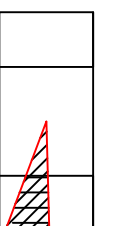
Viga7D



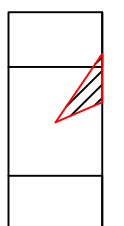
N.7D.1



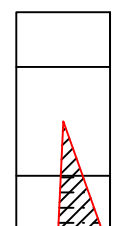
N.7D.2



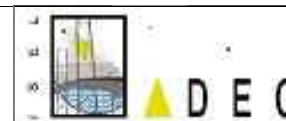
N.7D.3



N.7D.4



N.7D.5



Nome: Diana Filipa da Palma de Araújo  
Nº 36628



ISEL-ADEC  
Instituto superior de  
Engenharia de Lisboa

Trabalho Final de Mestrado  
*Avaliação de estruturas de madeira em serviço. Caso de estudo da Ermida da Ascensão de Cristo*

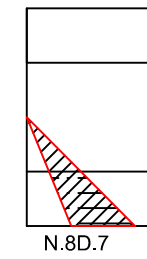
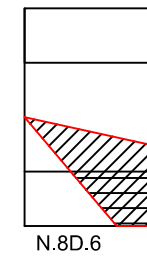
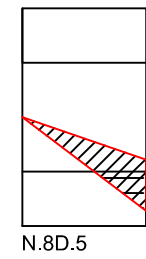
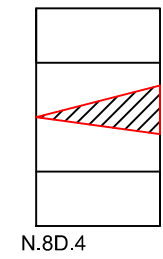
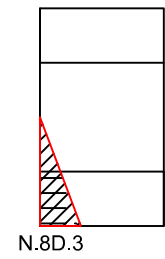
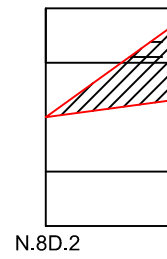
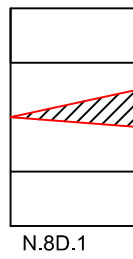
Escala 1/5  
Formato A3

Cálculo do KAR Marginal e Total - Parte 5

Data  
Dezembro  
2015

Desenho  
Nº7

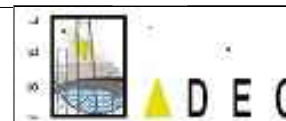
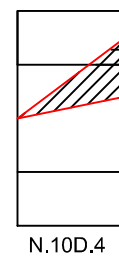
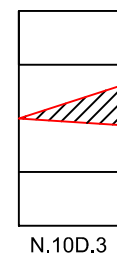
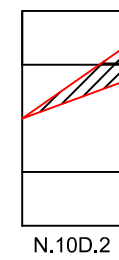
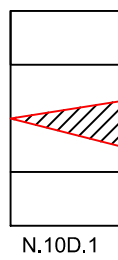
Viga8D



Viga9D



Viga10D



Nome: Diana Filipa da Palma de Araújo  
Nº 36628



ISEL-ADEC  
Instituto superior de Engenharia de Lisboa

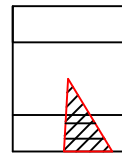
Trabalho Final de Mestrado  
*Avaliação de estruturas de madeira em serviço. Caso de estudo da Ermida da Ascensão de Cristo*

Escala 1/5  
Formato A3

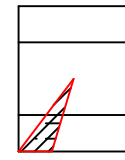
Cálculo do KAR Marginal e Total - Parte 6

Data  
Dezembro 2015  
Desenho  
Nº8

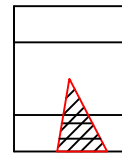
Viga11D



N.11D.1

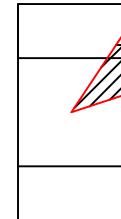


N.11D.2



N.11D.3

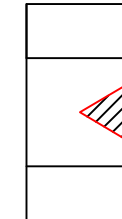
Viga12D



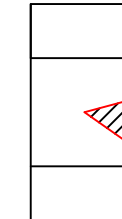
N.12D.1



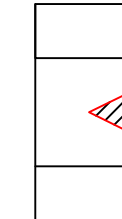
N.12D.2



N.12D.3

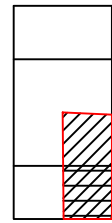


N.12D.4



N.12D.5

Viga13D

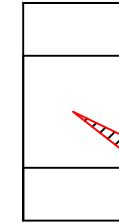


N.13D.1

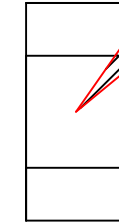


N.13D.2

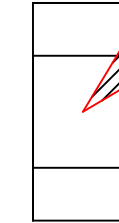
Viga CS



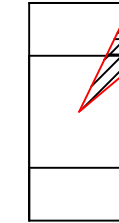
N.CS.1



N.CS.2

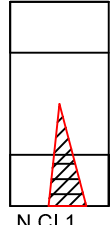


N.CS.3

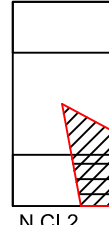


N.CS.4

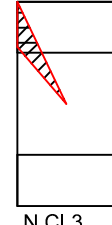
Viga CI



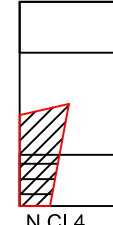
N.CI.1



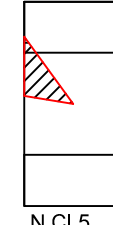
N.CI.2



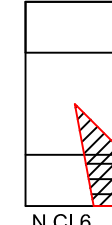
N.CI.3



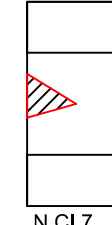
N.CI.4



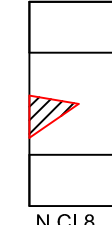
N.CI.5



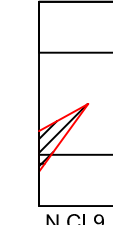
N.CI.6





N.CI.7



N.CI.8



N.CI.9

	Nome: Diana Filipa da Palma de Araújo Nº 36628		<b>ISEL-ADEC</b> Instituto superior de Engenharia de Lisboa	
	<b>Trabalho Final de Mestrado</b> <i>Avaliação de estruturas de madeira em serviço. Caso de estudo da Ermida da Ascensão de Cristo</i>		Escala 1/5 Formato A3	
	Cálculo do KAR Marginal e Total - Parte 7		Data Dezembro 2015	Desenho Nº9