

# EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS EM PAVIMENTOS DE MADEIRA

Lisa Ana Águia de Oliveira

Orientador: Eng.º José Manuel Sousa

Outubro 2013



## DEDICATÓRIA

---

Ao meu Pai,  
não só pelo homem que é,  
mas também pelo conhecimento nesta matéria  
que me deixa cultivar junto dele!

*“Porque quando há vontade a madrugada vira dia, quarta-feira  
vira sábado e um momento vira oportunidade.”*

*Pedro Biel*



## AGRADECIMENTOS

---

Ao meu orientador, Eng. José Manuel Sousa pela oportunidade que me deu em realizar este trabalho e pelo seu contributo fundamental para que o objetivo final fosse atingido. Sobretudo pela transmissão de conhecimentos, opiniões partilhadas tanto a nível académico como pessoal. Um obrigado especial pelo convite à participação na Jornada Técnica de Reabilitação Urbana e porque acima de tudo fez muito para além da sua obrigação.

Ao Eng.º Joaquim Almeida e ao Eng.º João Paulo Neves pela oportunidade que me deram na realização do estudo de um pavimento de madeira inserido na área da reabilitação urbana do Porto e por me terem proporcionado o meu envolvimento em obra.

Um agradecimento especial ao Eng.º Rogério Azevedo, meu atual colega de trabalho, que na altura me acompanhou na realização do caso prático e que dispôs do seu tempo e paciência para resolver todas as dúvidas. Obrigado por ter sido, e ainda ser um bom professor em obra.

À minha equipa da obra, em especial ao Pedro e ao Mário, por muitas vezes ouvirem e sobretudo por compreenderem as minhas ausências.

Ao amigo e colega Márcio Luzio por toda a bibliografia que disponibilizou, por toda a ajuda, incêntivo e disponibilidade que me concedeu ao longo da realização desta dissertação.

Ao André Silva e ao Ricardo Almeida pela ajuda na realização da parte estrutural e pelo companheirismo partilhado nos últimos dias. Ao Luís e à Helena, pelos «desenrasques».

A todos os meus amigos, em especial à Licas e à Rita pelas palavras duras mas eficazes. À Tia Lai, por ter sido muito mais que uma amiga.

Aos meus pais, sem dúvida as pessoas mais importantes da minha vida, pela educação e conselhos transmitidos, nunca esquecidos ao longo do meu percurso académico. Especialmente pelo apoio incondicional e por estarem sempre presentes, em todos os momentos, mesmo quando a distância não o permitia fisicamente, mas nunca deixando que esta se transformasse numa barreira.

Ao Filipe, por estar sempre a meu lado e fazer da minha vida um “Marshmallow”.



## **PALAVRAS-CHAVE**

---

Exigências funcionais; Pavimentos de madeira; Derivados de madeira; Casa Burguesa; Características da madeira; Isolamentos usados em pavimentos.

## **RESUMO**

---

Durante séculos a madeira foi dos materiais mais privilegiados e usados na construção. Ainda hoje, existem construções antigas em madeira em bom estado de conservação e que, desempenham as suas funções adequadamente. Com o aparecimento do betão e do aço, os projetistas deixaram de usar este tipo de estruturas. Isto provocou um desinteresse na indústria da madeira, adiando a criação de regulamentos e normas relativamente às exigências funcionais deste tipo de estruturas. Com a necessidade da reabilitação do património edificado, verifica-se uma inversão desta tendência, devido às edificações no centro histórico serem constituídas por estruturas de madeira, essencialmente os pavimentos e coberturas. Na maioria das vezes estas estruturas apresentam um elevado nível de degradação e a solução mais rentável é demolir. Os pavimentos de madeira são então substituídos por lajes aligeiradas ou de betão armado provocando alterações estruturais inadequadas nas fachadas a manter.

Pretende-se com esta dissertação mostrar as potencialidades dos pavimentos de madeira e assim incentivar ao seu uso, principalmente nas áreas a reabilitar.

São analisados todos os regulamentos e normas aplicáveis às exigências estruturais, térmicas, acústicas e contra incêndio dos pavimentos de madeira. A análise da normalização aplicável vai ser sintetizada, ou seja, só vão ser referidos os aspetos a ter em conta para a verificação das exigências funcionais em pavimentos de madeira.

A aplicação dos conceitos e das verificações necessárias são aplicadas a um pavimento de madeira a ser construído na parcela C4 do Quarteirão das Cardosas. Os resultados obtidos neste caso de estudo são encorajadores, e abrem uma perspetiva das potencialidades que este sistema construtivo apresenta.



## KEYWORDS

---

Functional requirements; Wood floors; Engineered wood; Bourgeois house; Wood characteristics; Floor isolation systems.

## ABSTRACT

---

For centuries, wood has been the most privileged and used material in construction. Even today, there are old wooden constructions in good condition that still perform their duties. With the appearance of concrete and steel, the designers have stopped using this type of structures. This caused a lack of interest in the wood industry, delaying the creation of regulations and standards that address the functional requirements of such structures. With the need for rehabilitation of the building heritage, there is a reversal of this trend due to the fact that the buildings in the historic center are composed from wooden structures, essentially the floors and roofs. Most of the time, these structures have a high level of degradation and the most cost effective solution is to demolish. The wood floors are then replaced by block slabs or reinforced concrete causing structural changes inadequate to maintain the facades.

It is intended with this dissertation to show the potential of wood flooring and thus encourage its use, especially in the rehabilitation area.

All regulations and standards applicable to structural requirements, thermal, acoustic and fire protection of wood flooring are analyzed. The analysis of the standards will be synthesized, i.e., only the aspects to take into account for the verification of functional requirements for wood floors are referred.

The application of the concepts and the necessary verifications are applied to a wood floor to be built on block C4 of the Quarteirão das Cardosas. The results of this case study are encouraging, and open up a perspective of the potential that this constructive system presents.



## ÍNDICE GERAL

---

DEDICATÓRIA .....	iii
AGRADECIMENTOS .....	v
PALAVRAS-CHAVE .....	vii
RESUMO.....	vii
KEYWORDS.....	ix
ABSTRACT .....	ix
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Âmbito, objetivo e justificação.....	1
1.2 Bases do trabalho desenvolvido.....	3
1.3 Estrutura e organização da dissertação .....	3
2 MADEIRA, COMO MATERIAL.....	5
2.1 Generalidades.....	5
2.2 Estrutura macroscópica .....	7
2.2.1 Plano transversal .....	7
2.2.2 Plano radial e tangencial.....	10
2.3 Estrutura microscópica .....	10
2.3.1 Resinosas .....	11
2.3.2 Folhosas.....	11
2.4 Estrutura sub-microscópica.....	12
2.5 Composição química .....	13
2.6 Propriedades da madeira.....	14
2.6.1 Propriedades físicas.....	14
2.6.1.1 Teor de água .....	14
2.6.1.2 Higroscopicidade.....	15
2.6.1.3 Retração e dilatação (inchamento da madeira).....	17

2.6.1.4	Massa volúmica aparente .....	18
2.6.1.5	Dureza .....	19
2.6.2	Propriedades mecânicas .....	19
2.6.2.1	Resistência à tração paralela à fibra.....	19
2.6.2.2	Resistência à compressão paralela à fibra.....	20
2.6.2.3	Resistência à Flexão.....	20
2.6.2.4	Resistência tração perpendicular à fibra.....	21
2.6.2.5	Resistência à compressão perpendicular à fibra .....	22
2.6.2.6	Resistência ao corte ou escorregamento.....	22
2.6.3	Principais fatores que influenciam as propriedades físicas e mecânicas.....	23
2.7	Comportamento térmico da madeira .....	24
2.8	Comportamento acústico da madeira.....	25
2.9	Comportamento ao fogo da madeira .....	27
3	PAVIMENTOS DE MADEIRA .....	29
3.1	Enquadramento histórico.....	29
3.1.1	O caso da cidade do porto .....	33
3.1.1.1	Caracterização construtiva e funcionamento estrutural dos edifícios .....	33
3.1.1.2	Sociedade de Reabilitação Urbana .....	36
3.2	Elementos construtivos dos pavimentos.....	38
3.2.1	Vigamentos.....	38
3.2.1.1	Apoios nas paredes.....	39
3.2.1.2	Espaçamentos entre vigas .....	41
3.2.1.3	Secções das vigas.....	42
3.2.2	Tarugos .....	43
3.2.3	Cadeias.....	45

3.2.4	Soalho.....	46
3.3	Escolha dos materiais e suas características .....	47
3.3.1	Madeira maciça.....	47
3.3.2	Derivados da madeira .....	49
3.3.2.1	Secções estruturais de derivados de madeira.....	50
3.3.2.1.1	Madeira Lamelada Colada .....	50
3.3.2.1.2	Contraplacados.....	50
3.3.2.1.3	Laminated veneer lumber (LVL) .....	51
3.3.2.1.4	Parallel strand lumber (PSL).....	52
3.3.2.1.5	Laminated strand lumber (LSL) .....	52
3.3.2.1.6	Vigas I (I-Joists).....	53
3.3.2.2	Placas de aglomerados de madeira.....	54
3.3.2.2.1	Aglomerados de partículas de madeira.....	54
3.3.2.2.2	Aglomerados de partículas de madeira longas e orientadas (OSB) .....	54
3.3.2.2.3	Aglomerados de partículas de madeira ligados com cimento .....	55
3.3.2.2.4	Aglomerados de fibras de madeira (MDF, HDF, LDF) .....	56
3.3.3	Isolamentos.....	57
3.3.3.1	Isolantes térmicos.....	58
3.3.3.1.1	Lã de Vidro .....	58
3.3.3.1.2	Lã de Rocha .....	59
3.3.3.1.3	Poliestireno expandido moldado (EPS).....	59
3.3.3.1.4	Poliestireno expandido extrudido (XPS).....	60
3.3.3.1.5	Poliuretano (PUR) .....	60
3.3.3.1.6	Cortiça .....	61
3.3.3.1.7	Fibra de coco.....	62
3.3.3.2	Isolantes acústicos .....	62
3.3.3.2.1	Lã de rocha.....	62
3.3.3.2.2	Cortiça .....	62

3.3.3.2.3	Mantas de Espuma.....	63
3.3.3.2.4	Membranas acústicas.....	64
3.3.3.2.5	Sistemas anti vibração.....	65
3.3.3.3	Proteção contra incêndio.....	65
3.3.3.3.1	Sistemas de proteção com retardante de fogo .....	65
3.3.3.3.2	Sistemas de proteção mecânica.....	68
4	EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS EM PAVIMENTOS DE MADEIRA.....	71
4.1	Exigências Estruturais.....	72
4.1.1	Estabilidade nas estruturas de madeira .....	72
4.1.1.1	Ações e combinação de ações .....	72
4.1.1.2	Classes de serviço e duração das ações.....	72
4.1.1.3	Verificação da segurança.....	73
4.1.2	Metodologia para verificação da segurança .....	74
4.1.2.1	Apresentação geral do Eurocódigo 5: Parte 1-1.....	74
4.1.2.2	Requisitos básicos de projeto.....	75
4.1.2.3	Estados Limite.....	77
4.1.2.3.1	Estados Limite últimos.....	77
4.1.2.3.2	Estados Limite de utilização.....	78
4.1.2.4	Verificação através dos métodos dos coeficientes parciais.....	78
4.1.2.4.1	Valor de cálculo de uma propriedade de um material.....	78
4.1.2.4.2	Valor de cálculo das resistências.....	79
4.1.2.4.3	Classes de resistência.....	80
4.1.2.4.4	Valores de $K_{mod}$ e $k_{def}$ .....	83
4.1.3	Estado-limite último.....	85
4.1.3.1	Peças com esforços axiais paralelas ao fio.....	86
4.1.3.1.1	Tração paralela ao fio.....	86
4.1.3.1.2	Compressão paralela ao fio.....	88

4.1.3.2	Peças com esforços axiais perpendiculares ao fio.....	88
4.1.3.2.1	Tração perpendicular ao fio .....	88
4.1.3.2.2	Compressão perpendicular ao fio.....	88
4.1.3.3	Peças à flexão.....	90
4.1.3.3.1	Flexão simples .....	90
4.1.3.3.2	Flexão composta com tração.....	91
4.1.3.3.3	Flexão composta com compressão.....	92
4.1.3.3.4	Verificação ao bambeamento .....	92
4.1.3.4	Verificação ao corte .....	93
4.1.4	Estado-limite utilização.....	94
4.1.4.1	Estado-limite de deformação.....	94
4.1.4.2	Estado-limite de vibração .....	95
4.2	Exigências térmicas.....	97
4.2.1	Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios ...	97
4.2.1.1	Parâmetros fundamentais .....	99
4.2.1.1.1	Divisão climática do país .....	99
4.2.1.1.2	Coefficiente de transmissão térmica: .....	100
4.2.1.1.3	Coefficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos ( $\tau$ )	
	101	
4.2.1.2	Requisitos de verificação regulamentar .....	102
4.3	Exigências acústicas .....	103
4.3.1	Regulamento Geral do Ruído .....	103
4.3.2	Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios .....	103
4.3.2.1	Aspetos fundamentais.....	104
4.3.2.1.1	Tempo de reverberação.....	105
4.3.2.1.2	Isolamento sonoro a sons de condução aérea.....	105
4.3.2.1.3	Nível sonoro de percussão padronizado .....	106

4.3.2.2	Requisitos de verificação regulamentar.....	106
4.4	Exigências Contra Incêndio .....	108
4.4.1	Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios .....	108
4.4.1.1	Utilizações-tipo .....	109
4.4.1.2	Locais de risco .....	109
4.4.1.3	Categorias de risco.....	110
4.4.1.4	Classes de reação ao fogo .....	111
4.4.1.5	Classes de resistência ao fogo .....	114
4.4.2	Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios .....	115
4.4.2.1	Resistência ao fogo de elementos estruturais e incorporados.....	116
4.4.2.2	Reação ao fogo mínima dos revestimentos.....	117
4.4.3	Métodos de cálculo previstos no Eurocódigo 5 .....	117
4.4.3.1	Valores de cálculo das propriedades dos materiais e resistências .....	118
4.4.3.2	Métodos Simplificados.....	119
4.4.3.2.1	Método da secção reduzida.....	121
4.4.3.2.2	Método da redução de propriedades .....	121
4.4.3.3	Método avançado de cálculo .....	122
5	QUARTEIRÃO DAS CARDOSAS – CASO DE ESTUDO .....	123
5.1	Enquadramento histórico.....	123
5.2	Descrição do edifício e da intervenção.....	125
5.3	Pavimentos da parcela C4 .....	128
5.4	Verificação das exigências funcionais .....	132
5.4.1	Exigências estruturais.....	132
5.4.1.1	Análise de dados .....	132
5.4.1.1.1	Caraterísticas dos materiais.....	132
5.4.1.1.2	Cálculo das cargas atuantes .....	133

5.4.1.2	Estado-limite último.....	135
5.4.1.2.1	Verificação à flexão.....	135
5.4.1.2.2	Verificação à instabilidade .....	138
5.4.1.2.3	Verificação ao corte .....	139
5.4.1.3	Estado-limite de utilização .....	140
5.4.1.3.1	Estado-limite de deformação.....	140
5.4.1.3.2	Estado-limite de vibração .....	142
5.4.2	Exigências térmicas.....	144
5.4.2.1	Análise de dados.....	145
5.4.2.2	Cálculo dos coeficientes de transmissão térmica .....	145
5.4.2.3	Verificação regulamentar.....	146
5.4.3	Exigências acústicas.....	147
5.4.3.1	Análise de dados.....	147
5.4.3.2	Verificação regulamentar.....	147
5.4.4	Exigências contra incêndio.....	149
5.4.4.1	Análise de dados.....	149
5.4.4.2	Verificação regulamentar.....	149
5.4.4.3	Verificação segundo o EC5:1-2 .....	150
5.4.4.3.1	Cálculo da nova secção .....	150
5.4.4.3.2	Cálculo das novas cargas atuantes.....	151
5.4.4.3.3	Verificação à flexão.....	152
5.4.4.3.4	Verificação ao corte .....	153
6	CONCLUSÃO.....	155
	BIBLIOGRAFIA.....	159
	ANEXOS .....	165
	ANEXO 1.....	167
	ANEXO 2.....	192



## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 2.1 – Exemplo das principais categorias de árvores .....	5
Figura 2.2 – Direções principais de corte no tronco de uma árvore (Coutinho, 1999) .....	7
Figura 2.3 – Corte transversal de tronco de uma árvore (Makepeace, 1993).....	8
Figura 2.4 – Secção transversal de uma madeira resinosa vista ao microscópio (Martins, 2009).....	11
Figura 2.5 – Secção transversal de uma madeira folhosa vista ao microscópio (Martins, 2009) .....	12
Figura 2.6 – Organização da parede celular (Alvarez, 2000).....	12
Figura 2.7 – Curvas de teor de água de equilíbrio para várias combinações temperatura/humidade relativa do ar (Cachim, 2007) .....	16
Figura 2.8 – Retração e inchamento da madeira (Cachim, 2007).....	17
Figura 2.9 – Retração e inchamento da madeira segundo as três direções (Cachim, 2007)	18
Figura 2.10 – Efeito do esforço de flexão (Martins & Araújo, 2005).....	21
2.11 – Tração perpendicular à fibra (Cachim, 2007).....	21
Figura 2.12 – Compressão perpendicular à fibra (Cachim, 2007).....	22
Figura 2.13 – Efeito do teor de água na resistência da madeira (Cachim, 2007).....	24
Figura 2.14 – Índice de redução sonora em função da massa do material (Lei da massa)(Silva, 1985).....	26
Figura 2.15 – Secção de uma viga exposta ao fogo durante 30 min. (IPL, 2012) .....	28
Figura 3.1 – Esboço de uma cabana pré-histórica (Cachim, 2007).....	29
Figura 3.2 – Réplica de uma construção por encaixe de troncos (National Park Service, 2013).....	30
Figura 3.3 – Ponte em madeira com mais de 1000 anos, China (Greensavers, 2013) .....	31
Figura 3.4 – Igreja em Alesund, Noruega (Panoramico, 2013).....	31
Figura 3.5 – MEO Arena, Lisboa (Tipsguide, 2013).....	33
Figura 3.6 – Soluções de habitação urbana.....	34
Figura 3.7 – Esquema estrutural de uma casa nobre da cidade do Porto (Dias, 2008).....	34

Figura 3.8 – Esquema estrutural tipo da Casa Burguesa do Porto (PARC, 2011) .....	35
Figura 3.9 – As diferentes áreas da reabilitação urbana (SRU, 2013).....	37
Figura 3.10 – Pavimento de madeira (Appleton, 2003).....	38
Figura 3.11 - Entregas de vigas com tratamento através de alcatrão .....	39
Figura 3.12 – Exemplo de ferrolhos e chavetas (Segurado, 1942) .....	40
Figura 3.13 – Alguns métodos utilizados na fixação de frechais (Segurado, 1942).....	41
Figura 3.14 – Colocação de vigas transversais para diminuição do vão (Dias, 2008) .....	42
Figura 3.15 – Vigamento efetuado por troncos falqueados (Ilharco et al., 2006) .....	42
Figura 3.16 – Tarugamento Simples (Costa, 1955) .....	44
Figura 3.17 – Tarugos de cruzetas executados com ripas de madeira (Costa, 1955).....	44
Figura 3.18 – Sistema de tarugamento entalonado (Appleton, 2003) .....	45
Figura 3.19 – Exemplo de cadeias.....	46
Figura 3.20 – Tipos de soalho (Lopes, 2005).....	47
Figura 3.21 – Espécies florestais em Portugal Continental (ICNF, 2013).....	48
Figura 3.22 – Exemplos de MLC (Sousa, 2007) .....	50
Figura 3.23 – Contraplacado (Somapil, 2013) .....	51
Figura 3.24 – Laminated veneer lumber (Sousa, 2007).....	52
Figura 3.25 – Parallel strand lumber (PSL) (Sousa, 2007).....	52
Figura 3.26 – Laminated strand lumber (LSL) (Sousa, 2007) .....	53
Figura 3.27 – Vigas pré-fabricadas (Sousa, 2007).....	53
Figura 3.28 – Aglomerado de partículas de madeira (Covema, 2013).....	54
Figura 3.29 – Aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas (Covema, 2013) .....	55
Figura 3.30 – Aglomerados de partículas de madeira ligados com cimento (Viroc, 2013) .....	55
Figura 3.31 – Aglomerado de fibras de média densidade (MDF) (Covema, 2013) .....	57
Figura 3.32 – Zonas de aplicação dos isolamentos em pavimentos .....	57
Figura 3.33 – Aplicação de lã de vidro em teto falso, zona inferior do pavimento (Fibrosom, 2013) .....	58
Figura 3.34 – Lã de Rocha projetada (Polirigido, 2013).....	59
Figura 3.35 – Placas de Poliestireno expandido moldado (EPS) (Fibrosom, 2013).....	60

Figura 3.36 – Placas de Poliestireno Extrudido (XPS) (Fibrosom, 2013) .....	60
Figura 3.37 – Aglomerado e regranulado de cortiça (Fibrosom, 2013) .....	61
Figura 3.38 – Fibra de coco (Natural fibras, 2013) .....	62
Figura 3.39 – Placas de espuma de poliuretano (Silencio, 2013) .....	63
Figura 3.40 – Aplicação da manta de espuma de polietileno (Fibrosom, 2013) .....	64
Figura 3.41 – Membrana acústica (Danosa, 2013) .....	64
Figura 3.42 – Sistemas Anti vibráticos (FBCE, 2013) .....	65
Figura 3.43 – Exemplo de uma Autoclave [O 20] .....	66
Figura 3.44 – Sistema de proteção mecânico (Gyptec, 2013) .....	68
Figura 3.45 – Argamassas fibrosas projetada (Tria, 2012) .....	69
Figura 4.1 - Viga continuamente apoiada (Faria & Negrão. 2009). .....	89
Figura 4.2 - Viga sobre apoios discretos (Faria & Negrão. 2009). .....	90
Figura 4.3 – Componentes da deformação de uma viga (EC5:Parte1-1, 2004) .....	95
Figura 4.4 – Valores limites recomendados de a e b (EC5:Parte1-1, 2004) .....	97
Figura 4.5 – Zonas climáticas para Portugal Continental (RCCTE, 2006) .....	100
Figura 4.6 – Meios de propagação do som (Reis & Moreira, 2008) .....	104
Figura 4.7 – Exigências acústicas dos pavimentos .....	107
Figura 4.8 – Profundidades de carbonização (EC5:Parte1-2, 2004) .....	119
Figura 4.9 – Esquema para o cálculo da profundidade da secção efetiva (EC5:Parte1-2, 2004) .....	121
Figura 5.1 – Área do Quarteirão, 1794 (Lucios, 2012) .....	123
Figura 5.2 – Passeio das Cardosas, 1910 (Lucios, 2012) .....	124
Figura 5.3 – Quarteirão das Cardosas – vista aérea (Lucios, 2012) .....	124
Figura 5.4 – Rua das Flores, vista da Praça Almeida Garrett, início séc. XX (Lucios, 2012) .....	125
Figura 5.5 – Edifícios 7, 8, 9 e 10, Quarteirão das Cardosas (Lucios, 2012) .....	125
Figura 5.6 – Esquema de circulações da Nova Praça (Lucios, 2012) .....	126
Figura 5.7 – Trabalhos iniciais nos edifícios 7, 8, 9 e 10 (Lucios, 2012) .....	126
Figura 5.8 – Fachadas da parcela C4 .....	127

Figura 5.9 – Pormenor da ligação Viga periférica/ Fachada .....	128
Figura 5.10 – Pormenor da ligação Viga periférica/ Viga principal.....	129
Figura 5.11 – Manta acústica da Danosa (Lucios, 2012) .....	129
Figura 5.12 – Aplicação do granulado de cortiça entre as vigas secundárias (vista superior do pavimento) .....	130
Figura 5.13 – Placas de gesso com lã de rocha, e sistema de fixação às vigas GL24 (Gyptec, 2013) .....	131
Figura 5.14 – Desenho em corte do pavimento 1.....	131

## ÍNDICE DE QUADROS

---

Quadro 2.1 – Principais diferenças entre resinosas e folhosas (Cachim, 2007).....	6
Quadro 2.2 – Classificação da Madeira de acordo com o seu teor de água (Cachim, 2007) .....	16
Quadro 3.1 – Tipos de placas de aglomerado de fibras de madeira (Sousa, 2007).....	56
Quadro 4.1 – Regulamentos aplicáveis às exigências funcionais dos pavimentos de madeira .....	71
Quadro 4.2 – Classes de serviço (EC5:Parte1-1, 2004).....	73
Quadro 4.3 – Classe de duração das ações (EC5:Parte1-1, 2004).....	73
Quadro 4.4 – Coeficientes parciais de segurança (EC5:Parte1-1, 2004).....	79
Quadro 4.5 – Valores característicos para as classes de resistência: Resinosas (IPQ, 2003) .....	81
Quadro 4.6 – Valores característicos para as classes de resistência: Folhosas (IPQ, 2003)	82
Quadro 4.7 – Valores característicos para as classes de resistência de lamelados colados homogêneos e combinados (NP EN 1194:2002) .....	83
Quadro 4.8 – Valores de $k_{mod}$ (EC5:Parte1-1, 2004).....	84
Quadro 4.9 – Valores de $k_{def}$ (EC5:Parte1-1, 2004).....	85
Quadro 4.10 – Comprimento efetivo definido em proporção do vão (EC5:Parte1-1, 2004)	93
Quadro 4.11 – Valores limite de deformadas em vigas (EC5:Parte1-1, 2004).....	95
Quadro 4.12 – Resistências térmicas superficiais .....	101
Quadro 4.13 – Valores do coeficiente $\tau$ (RCCTE, 2006).....	102
Quadro 4.14 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos (RCCTE, 2006).....	102
Quadro 4.15 – Definição das utilizações-tipo (UT) (RJ-SCIE, 2008) .....	109
Quadro 4.16 – Classificação dos locais de risco (RJ-SCIE, 2008).....	110
Quadro 4.17 – Categorias de risco da utilização - tipo I “habitacionais” (RJ-SCIE, 2008) .....	111

Quadro 4.18 – Categorias de risco da utilização-tipo VIII “comerciais e gares de transporte” (RJ-SCIE, 2008) .....	111
Quadro 4.19 – Parâmetros para a classificação da reação ao fogo de materiais de construção (RJ-SCIE, 2008) .....	112
Quadro 4.20 – Classes de reação ao fogo para produtos de construção de pavimentos, incluindo os seus revestimentos (RJ-SCIE, 2008).....	113
Quadro 4.21 – Equivalências entre as especificações do LNEC e as do sistema Europeu para a classificação de reação ao fogo (RJ-SCIE, 2008).....	113
Quadro 4.22 – Designação dos parâmetros de resistência ao fogo dos produtos de construção (RJ-SCIE, 2008) .....	115
Quadro 4.23 – Equivalência entre as especificações do LNEC e o Sistema Europeu para a classificação de resistência ao fogo (RJ-SCIE, 2008) .....	115
Quadro 4.24 – Resistência ao fogo mínima de elementos estruturais de edifícios (RT-SCIE, 2008) .....	117
Quadro 4.25 – Reação ao fogo mínima dos revestimentos (RT-SCIE, 2008).....	117
Quadro 4.26 – Valores de $k_{fi}$ (EC5:Parte1-2, 2004).....	119
Quadro 4.27 – Taxas de carbonização (EC5:Parte1-2, 2004).....	120
Quadro 4.28 – Valores para o cálculo de $k_0$ (EC5:Parte1-2, 2004).....	121
Quadro 5.1 – Caraterísticas do soalho Sucupira.....	133
Quadro 5.2 – Caraterísticas térmicas dos materiais.....	145
Quadro 5.3 - Limites regulamentares a cumprir na parcela C4 .....	148
Quadro 5.4 – Análise dos aspetos fundamentais.....	149
Quadro 5.5 – Classificação quanto à reação ao fogo dos materiais .....	150

## ACRÓNIMOS

---

ACRRU - Área Crítica de Recuperação e Reconversão Urbanística

EC0 - Eurocódigo 0: Bases para projetos de estruturas

EC1 - Eurocódigo 1: Ações em estruturas

EC5:1-1 - Eurocódigo 5: Projetos de estruturas de madeira (Parte 1-1: Regras gerais)

EC5:1-2 - Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: General - Structural fire design

EPS - Poliestireno expandido moldado

HR - Humidade relativa do ar ambiente

ICOMOS - Instituto para a Conservação de Monumentos e Sítios

IGESPAR - Instituto de Gestão do Património Arquitetónico e Arqueológico

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LSL - Laminated strand lumber

LVL - Laminated Veneer Lumber

MDF - Aglomerado de fibras de média densidade

MLC - Madeira Lamelada colada

OSB - Oriented strand board

PSL - Parallel strand lumber

PUR - Poliuretano

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RGR - Regulamento Geral do Ruído

RJ-SCIE - Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios

RRAE - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

RT-SCIE - Regulamento Técnico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios

SRU - Sociedade de Reabilitação Urbana

T - Temperatura

UT - Utilizações tipo

XPS - Poliestireno expandido extrudido

ZIP - Zona de Intervenção Prioritária



## SÍMBOLOS

---

$A_{ef}$  – Área de contacto efetiva

$d_{char,0}$  – Profundidade de carbonização unidimensional

$d_{char,n}$  – Profundidade de carbonização nominal

$d_{ef}$  – Profundidade de carbonização efetiva

$D_{nT}$  – Isolamento sonoro a sons de condução aéreo

$E_{0,05}$  – Valor correspondente às do módulo de elasticidade

$E_{0,2}$  – Percentil de 20% do módulo de elasticidade de cálculo da madeira

$E_d$  – Valor de cálculo do módulo de elasticidade

$E_{d,fi}$  – Módulo de elasticidade de cálculo da madeira

$(EI)_b$  – Fator de rigidez de flexão para a direção transversal

$(EI)_L$  – Fator de rigidez para flexão segundo o vão principal

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

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

$f_{0,2}$  – Percentil de 20% da resistência de cálculo da madeira

$f_1$  – Frequência fundamental

$f_{c,0,d}$  – Valor de cálculo da resistência à compressão na direção do fio

$f_{t,0,d}$  – Valor de cálculo da resistência à tração do fio

$f_{t,0,k}$  – Valor característico da resistência à tração na direção do fio

$f_{c,90,k}$  – Valor característico da resistência à compressão na direção perpendicular ao fim

$f_{d,fi}$  – Resistência de cálculo da madeira sob a ação do fogo

$f_{m,k}$  – Valor característico da resistência à flexão

$f_{m,y,d}$  – Valor de cálculo da resistência à flexão em relação ao eixo y principal

$f_{m,z,d}$  – Valor de cálculo da resistência à flexão em relação ao eixo z principal

$f_{t,90,d}$  – Valor de cálculo da resistência à tração perpendicular ao fio

$f_{v,d}$  – Valor de cálculo da tensão resistente de corte.

$G_d$  – Valor de cálculo do módulo de distorção

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

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

H – Teor em água

HR – Humidade relativa

$k_{crit}$  – Fator utilizado para o bambeamento

$k_{def}$  – Fator de deformação

$k_h$  – Fator de profundidade

$k_m$  – Fator que considera a redistribuição de tensões de flexão numa secção

$K_{mod}$  – Fator de correção para a duração das ações e para o teor em água

$K_{mod,fi}$  – Fator de correção para a situação de incêndio

$K_{ser}$  – Módulo de deslizamento

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

$k_{sys}$  – Fator de resistência do sistema

$l$  – Vão do pavimento

$l_{ef}$  – Comprimento efetivo de bambeamento

$L'_{nT}$  – Nível sonoro de percussão

$m$  – Massa por unidade de área

Psf – Ponto de saturação das fibras

$R_{0,2}$  – Percentil de 20% da resistência de cálculo do elemento à temperatura normal sem considerar o efeito do teor de água e o efeito de duração das ações

$R_d$  – Valor de cálculo de uma capacidade resistente

$R_{d,fi}$  – Resistência do cálculo do elemento sob a ação do fogo

$R_j$  – Resistência térmica da camada j

$R_{si}$  – Resistência térmica superficial interior

$R_{se}$  – Resistência térmica superficial exterior

U – Coeficiente de transmissão térmica

UT – Utilizações - tipo

$w_c$  – Contraflecha

$w_{creep}$  – Flecha de fluência

$w_{fin}$  – Flecha final

$w_{inst}$  – Flecha instantânea  
 $w_{net,fin}$  – Flecha final útil  
 $\mathcal{X}_d$  – Valor de cálculo de uma propriedade de resistência  
 $\mathcal{X}_k$  – Valor característico de uma propriedade de resistência  
 $\beta_0$  – Taxa de carbonização unidimensional  
 $\beta_n$  – Taxa de carbonização nominal  
 $\alpha_i$  – Coeficiente de absorção sonora do material  
 $\psi_2$  – Coeficiente correspondente à ação da combinação quase-permanente  
 $\gamma_M$  – Coeficiente parcial de segurança para uma propriedade de um material  
 $\gamma_{M,fi}$  – Coeficiente parcial de segurança para madeiras sob a ação do fogo  
 $\sigma_{c,0,d}$  – Valor de cálculo da tensão de compressão na direção do fio  
 $\sigma_{c,90,d}$  – Valor de cálculo da tensão atuante de compressão perpendicular ao fio  
 $\sigma_{m,crit}$  – Tensão crítica de flexão  
 $\sigma_{m,d}$  – Valor de cálculo da tensão atuante de flexão  
 $\sigma_{m,y,d}$  – Valor de cálculo da tensão de flexão em relação ao eixo y principal  
 $\sigma_{m,z,d}$  – Valor de cálculo da tensão de flexão em relação ao eixo z principal  
 $\lambda_j$  – Condutibilidade térmica do material  
 $\lambda_{rel,m}$  – Coeficiente de esbelteza relativo à flexão  
 $\tau$  – Coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos  
 $\tau_d$  – Valor de cálculo da tensão atuante de corte;  
 $\mathcal{U}_{fin}$  – Deformação final  
 $\mathcal{U}_{fin,G}$  – Deformação final para uma ação permanente  $G$   
 $\mathcal{U}_{fin,Q_1}$  – Deformação final para uma ação variável de base de combinação  $Q_1$   
 $\mathcal{U}_{inst}$  – Deformação instantânea  
 $\mathcal{U}_{int,G}$  – Deformação instantânea para uma ação permanente  $G$   
 $\mathcal{U}_{inst,Q_1}$  – Deformação instantânea para uma ação variável de base de combinação  $Q_1$



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 ÂMBITO, OBJETIVO E JUSTIFICAÇÃO

Desde sempre que o homem sentiu necessidade de satisfazer as suas necessidades mais básicas. Com base na imaginação e na experiência, foi recriando ao longo dos tempos, um meio cada vez menos agressivo ao seu bem-estar, impondo exigências funcionais desde o seu abrigo na pré-história até às edificações nos dias de hoje. Há milhões de anos a única exigência imposta pelo homem era proteger-se dos animais e da agressividade do meio ambiente, com vista somente à sua sobrevivência. Torna-se sedentário, começa a estudar os diferentes tipos de materiais e cria abrigos mais robustos e duradouros. Com o passar do tempo e com o aperfeiçoamento das técnicas, rapidamente a construção passa a ser uma arte e uma forma de afirmação entre os povos. Havendo necessidade de criar construções cada vez mais grandiosas e sólidas, fez com que as exigências surgissem e evoluíssem rapidamente.

Nos dias de hoje, apesar de ser um tema em constante melhoria, as exigências funcionais já se encontram bastante específicas e com o cumprimento obrigatório de requisitos, inseridos em normas e regulamentos. As condições impostas, nas normas e regulamentos, têm como principal objetivo adequar o desempenho das atividades ao ato de habitar, ou seja, ordenar os espaços de forma a permitir o exercício diário das atividades domésticas desenvolvidas isoladamente, ou em grupo, de modo a responder às exigências humanas atuais. As exigências aplicadas na construção podem ser agrupadas em três tipos: exigências de segurança, de habitabilidade e de economia. As primeiras são as que visam garantir a integridade física dos ocupantes e referem-se a um bom dimensionamento estrutural e ao cumprimento da reação e da resistência ao fogo. As exigências de habitabilidade, onde se inserem as exigências térmicas e acústicas, garantem as condições indispensáveis à vida fisiológica e às condições de conforto dos ocupantes. Implícitas nas exigências mencionadas anteriormente, estão as exigências económicas, que se baseiam em dois aspetos principais: limitar o custo inicial, de manutenção e conservação e assegurar que todas as outras exigências sejam cumpridas durante o período de vida útil do edifício (Garcia, 2002).

Um dos objetivos da presente dissertação é analisar todos os regulamentos e normas aplicáveis às exigências funcionais dos pavimentos de madeira. O seu estudo vai assentar na análise das exigências estruturais, térmicas, acústicas e contra incêndio. A análise da normalização aplicável vai ser sintetizada, ou seja, só vão ser referidos os aspetos a ter em conta para a verificação das exigências funcionais em pavimentos de madeira. Um outro objetivo consiste na aplicação dos conceitos obtidos anteriormente, num pavimento de madeira a ser construído, na parcela C4 do Quarteirão das Cardosas.

A escolha do material madeira assenta na quantidade de construções antigas em madeira, que duram até aos nossos dias em bom estado de conservação e que, ainda hoje, desempenham as suas funções adequadamente. Estas construções são o testemunho que a madeira, quando bem conservada, é um material de grande qualidade e durabilidade. Contudo, com o aparecimento do betão e do aço e o desenvolvimento que estes dois materiais atingiram levou a que os projetistas, entusiasmados pela diversidade de soluções, gradualmente deixassem de usar este tipo de estruturas. Este facto provocou um desinteresse na indústria da madeira, adiando a criação de regulamentos e normas relativamente às exigências funcionais deste tipo de estruturas.

Com a necessidade da reabilitação do património edificado, verifica-se uma inversão desta tendência. A maioria das construções antigas existentes no parque arquitetónico português, principalmente nos centros históricos das cidades, são constituídas por edificações com estruturas de madeira e, devido ao seu valor patrimonial e à sua contribuição para a malha urbana, interessam ser recuperadas. No caso particular da cidade do Porto, verifica-se que a maioria dos edifícios antigos são constituídos por pavimentos de madeira, mas devido ao elevado grau de degradação que apresentam já não é possível reabilitar. Na maioria dos casos, o edifício acaba por ser demolido mantendo-se somente as fachadas. Devido à comodidade e à facilidade gerada em volta dos novos materiais, já referidos, quando se elabora um novo projeto para a reabilitação de um edifício, os pavimentos de madeira são automaticamente substituídos por pavimentos de lajes aligeiradas ou betão armado. Estes vão provocar uma alteração estrutural inadequada nas fachadas existentes. Nas alterações efetuadas, para além da substituição dos pavimentos, também se verifica, em alguns projetos

de reabilitação, a criação de novos pisos intermédios ou caves para garagens e, por vezes, alterações funcionais dos edifícios implicando a aplicação de novas cargas. Devido às modificações do edifício antigo e às alterações das condições de carga nas fundações pode-se produzir instabilidade ou colapso das mesmas, com consequências na estrutura de todo o edifício. Estas alterações quando mal projetadas e/ou mal executadas podem provocar também deformações excessivas de vigas e lajes, e a instabilidade de pilares, paredes e fachadas.

A justificação da presente dissertação assenta na possibilidade de construir novos pavimentos de madeira quando há a necessidade de demolir os antigos, promovendo assim um material com excelentes características para a construção. Pretende-se com a realização da presente dissertação divulgar as potencialidades de um pavimento de madeira para que seja feito um esforço efetivo e contínuo para contrariar o que se verifica na reabilitação nos dias de hoje.

## 1.2 BASES DO TRABALHO DESENVOLVIDO

O trabalho desenvolvido assentou na consulta das diversas publicações referidas na bibliografia que resultaram de uma pesquisa exaustiva.

Foi efetuada uma pesquisa a nível nacional e europeu de normas e regulamentos aplicáveis às exigências estruturais, térmicas, acústicas e contra incêndios referentes aos pavimentos de madeira.

Desenvolveu-se o estudo de um caso prático com base em material fornecido pela “Sociedade de Reabilitação Urbana – Porto Vivo” e pela empresa “Lúcio da Silva Azevedo & Filhos, S.A.”

## 1.3 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos principais.

O presente capítulo apresenta uma breve descrição do trabalho desenvolvido com os objetivos principais que se pretendem atingir. São apresentados também, os pontos mais importantes da justificação da sua realização e uma síntese do seu conteúdo.

O segundo capítulo consiste numa apresentação geral da madeira como material. Dão-se a conhecer noções gerais deste material, atendendo à sua origem, à sua composição e às suas principais propriedades físicas e mecânicas. Para além de se procurar demonstrar o seu papel e desempenho como material estrutural também são descritos o comportamento térmico, acústico e ao comportamento ao fogo da madeira.

O terceiro capítulo inicia com um enquadramento histórico dos pavimentos de madeira com especial atenção ao caso da cidade do Porto. São descritos os elementos construtivos dos pavimentos com referência às técnicas dos antigos construtores para uma melhor aplicação do que é atual nos dias de hoje. É apresentado também uma variedade de materiais que nos dias de hoje se pode aplicar num pavimento, desde derivados da madeira como os principais isolamentos térmicos, acústicos e de proteção contra incêndio.

No capítulo quatro são abordadas todas as especificações a cumprir para que um pavimento de madeira cumpra com as exigências funcionais que se propõem: estruturais; térmicas; acústicas e contra incêndio. Para tal, é apresentada uma breve descrição de todas as normas e regulamentos aplicáveis com especial atenção aos aspetos diretamente relacionados com a presente dissertação, pavimentos de madeira.

No capítulo cinco, descreve-se um caso de estudo relativo à construção de um pavimento de madeira, na parcela C4 do Quarteirão das Cardosas, localizado no centro histórico do Porto. Este estudo apresenta como principal objetivo a aplicação e verificação das exigências funcionais apresentadas no capítulo anterior.

Por último, no capítulo 6, são descritas as conclusões que se obtiveram com a realização da presente dissertação. É avaliado o cumprimento dos objetivos inicialmente propostos.

## 2 MADEIRA, COMO MATERIAL

### 2.1 GENERALIDADES

A madeira é um material complexo que possui uma organização microestrutural muito elaborada e uma matéria heterogênea e anisotrópica que resulta da transformação de um organismo vivo, a árvore.

A estrutura da madeira vai ser então, influenciada pela diversidade de fatores que contribuem para as necessidades da árvore enquanto ser vivo, designadamente, a alimentação, condições climáticas, natureza do solo, altitude, entre outros. Pode-se, com isto, afirmar que não é possível encontrar numa árvore dois pontos distintos com características iguais (Botelho, 2006).

Devido à complexidade da madeira a vários níveis é fundamental o conhecimento das suas características biológicas, físicas e mecânicas uma vez que estas estão inteiramente ligadas às propriedades necessárias para uma correta utilização desta como material na construção civil. Para um melhor estudo e compreensão das suas características, as árvores usadas na construção, dividem-se em duas grandes categorias no Reino vegetal: a das Gimnospérmicas (plantas com sementes desprotegidas) e das Angiospérmicas (plantas com sementes cobertas) que também se podem designar por resinosas e folhosas, respetivamente (Lopes, 2005).

A principal diferença entre as folhosas e as resinosas, também designadas madeiras duras e madeiras brandas, é desde logo a sua aparência como se pode ver na figura 2.1.



a) Resinosa (Pinheiro) (Naturlink, 2012)



b) Folhosa (Carvalho) (Naturlink, 2012)

Figura 2.1 – Exemplo das principais categorias de árvores

No quadro 2.1 são apresentadas as principais diferenças entre ambas as categorias, ao nível da arborescência.

Quadro 2.1 – Principais diferenças entre resinosas e folhosas (Cachim, 2007)

	<b>Resinosas</b>	<b>Folhosas</b>
<b>Botânica</b>	Plantas de sementes nuas, que não se encontram protegidos por um ovário	Plantas em que os óvulos se encontram protegidos por um ovário, evoluindo para sementes após fecundação
<b>Folhas</b>	Folhas persistentes (com algumas exceções). Folhas geralmente estreitas de pontas aguçadas.	Folhas persistentes ou caducas. Folhas geralmente planas com uma rede de finas nervuras.
<b>Flores</b>	Sem pétalas.	Geralmente com pétalas.
<b>Frutos</b>	Em geral um cone muitas vezes com escamas lenhosas.	Grande diversidade de forma, de textura e de cor.
<b>Terrenos</b>	Aceitam condições hostis.	Habitat menos hostil.
<b>Exemplos</b>	Pinheiro, Cipreste, Espruce, Abeto.	Carvalho, Sobreiro, Castanheiro, Eucalipto, Choupo

A grande diferença entre elas, para além da aparência, é a sua estrutura anatómica (ver subcapítulo 2.3). As folhosas apresentam uma maior variedade e diversidade de células, enquanto nas resinosas cerca de 90% das células que constituem o seu lenho são semelhantes, sendo muito mais simples a sua constituição e conseqüentemente o seu estudo.

A madeira de resinosas é a mais utilizada nas estruturas de madeira, devido ao facto de terem um valor económico inferior, enquanto as folhosas são utilizadas mais para funções decorativas, tais como, revestimentos e mobiliário (Cachim, 2007).

A madeira, como material, pode ser estudada a três níveis diferentes. A nível macroscópico, estrutura visível a olho nu ou com uma lupa de dez vezes de aumento que nos permite, por exemplo, perceber a variabilidade da resistência mecânica devido a defeitos como os nós. A nível microscópico que requer aumentos na ordem das 500 vezes e que nos permite conhecer a diferença de rigidez transversal e longitudinal. Por último, temos o nível sub-microscópico que requer aumentos superiores a 3000 vezes e que permite a compreensão, por exemplo, do comportamento de retração e dilatação da madeira (Cachim, 2007).

## 2.2 ESTRUTURA MACROSCÓPICA

A madeira é proveniente das árvores, que se encontram divididas em três zonas distintas que se diferenciam nas suas características e funções: raiz, tronco ou caule e copa. A raiz fixa a árvore ao solo e dele retira a água que contém sais minerais dissolvidos, isto é, a seiva bruta, necessária ao desenvolvimento do vegetal. O tronco, além de sustentar a copa conduz, por capilaridade, tanto a seiva bruta, desde a raiz até as folhas, como a seiva elaborada, das folhas para o lenho em crescimento. A copa divide-se em ramos, folhas e frutos. É nas folhas que se processa a transformação da água e sais minerais em compostos orgânicos: a seiva elaborada (Coutinho, 1999).

Como material de construção, é normal apenas o aproveitamento da madeira do caule. O crescimento deste efetua-se segundo três direções (figura 2.2) com características diferentes: direção axial ou longitudinal que permite o transporte da seiva; a direção radial onde se desenvolve a comunicação entre as diversas camadas de células bem como uma melhor consistência estrutural; por último a direção tangencial que é a direção ativa onde as células se dividem de forma a proporcionar o crescimento diametral (Cachim, 2007).

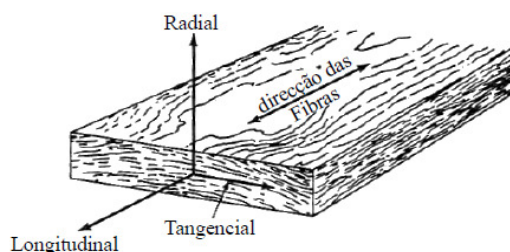


Figura 2.2 – Direções principais de corte no tronco de uma árvore (Coutinho, 1999)

### 2.2.1 PLANO TRANSVERSAL

No plano transversal, como se verifica na figura 2.3, podem ser identificadas diversas zonas claramente distintas. A nível macroscópico, neste plano é possível observar: a casca (constituída pelo líber e a epidérmica), o câmbio, o lenho (constituído pelo borne e o cerne) e a medula.

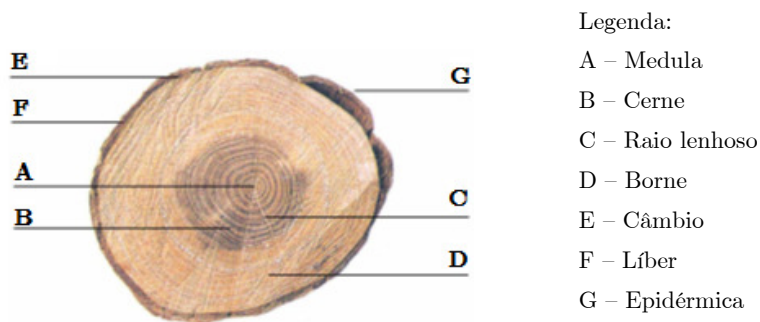


Figura 2.3 – Corte transversal de tronco de uma árvore (Makepeace, 1993)

A **casca**, camada mais externa do tronco, apresenta uma estrutura irregular que varia com a espécie e a idade da árvore. É constituída por duas camadas: uma externa, designada epidérmica que é formada por células mortas em que a sua principal função é a proteção do lenho; e o líber, camada interna formado por células vivas, que além de garantir igualmente a proteção do tronco, procede à condução da seiva formada nas folhas da árvore, permitindo o seu crescimento. Este crescimento permite que a casca seja renovada sempre que necessário.

O **câmbio** corresponde à zona de transição entre a casca e o borne constituída por tecidos vivos numa camada quase invisível que dão origem aos anéis de crescimento e à casca. Está em permanente transformação celular e tem como principal função o engrossamento e transformação, quer do líber (na direção exterior), quer do borne (na direção interior), no qual serão visíveis os anéis de crescimento anual resultantes deste processo (Correia, 2009).

Nos **anéis anuais de crescimento** refletem-se as condições de desenvolvimento da árvore: em zonas tropicais são largos e pouco distintos e em zonas temperadas ou frias são apertados e bem configurados. Em cada anel que se acrescenta, ano a ano, duas camadas podem destacar-se: uma de cor mais clara, formada durante a primavera e verão, o anel de primavera, e outra, de cor mais escura, formada no verão e outono, designando-se o anel de outono (Coutinho, 1999). Os anéis de crescimento registam assim a idade da árvore e servem de referência para o estudo da madeira. Em geral pode-se afirmar que um crescimento rápido origina maiores anéis a que vai corresponder a uma menor densidade e conseqüentemente uma menor resistência. Por este motivo a dimensão dos anéis é usada como um parâmetro

de classificação visual. Fatores como o clima ou o solo influenciam a relação entre a densidade e a espessura dos anéis (Cachim, 2007).

O **lenho** é o núcleo de sustentação e resistência da árvore e é pela sua parte viva que sobe a seiva bruta. Constitui a seção útil do tronco para obtenção, por abate e preparo, das peças estruturais de madeira natural ou madeira de obra. Em quase todas as espécies o lenho divide-se em duas zonas distintas: o borne e o cerne (Coutinho, 1999).

O **borne** (parte externa) tem cor mais clara que o cerne e é formado por células vivas e ativas. Além de ter a função resistente, é o condutor da seiva bruta, por ascensão capilar, desde a raiz até à copa (Coutinho, 1999). Corresponde à madeira mais jovem da árvore e é constituído por células vivas no momento do corte (Faria & Negrão. 2009).

O **cerne** (parte interna), de cor mais escura que o borne, é formado essencialmente por células mortas. As alterações progressivas são processos de crescente engrossamento das paredes celulares, provocadas por sucessivas impregnações de lenhina, resinas, taninos e corantes. Em consequência o cerne tem maior densidade, compacidade, resistência mecânica e, principalmente, maior durabilidade, pois, sendo constituído de tecido morto, sem seiva, amido nem açúcares, não atrai insetos nem outros agentes de deterioração. A sua frequente impregnação por resinas e óleos torna-o tóxico ou repelente em relação aos predadores da madeira (Coutinho, 1999).

A **medula**, tal como os anéis de crescimento, é claramente observável. Corresponde à parte central do tronco da árvore e é composta por um tecido mole e esponjoso, muitas vezes já apodrecido. Não tem, nem resistência mecânica, nem durabilidade e a sua presença em peças serradas constitui um defeito natural.

Os **raios lenhosos** são constituídos por células dispostas na direção radial, perpendiculares ao eixo da árvore, desde a medula até à casca e têm como função transportar transversalmente e armazenar as substâncias nutritivas. São também importantes para a classificação da madeira e para as suas propriedades, contribuindo para a rigidez da estrutura do tronco (Correia, 2009). Nas secções de algumas espécies aparecem como um “espelhado” com um bonito efeito estético e decorativo: por exemplo no carvalho, louro, cedro, entre outros. A sua presença, quando significativa, é vantajosa porque funcionam

como uma amarração transversal das fibras, impedindo que “trabalhem exageradamente” aquando de variações do teor de humidade (Coutinho, 1999).

## 2.2.2 PLANO RADIAL E TANGENCIAL

Para uma melhor identificação da espécie de madeira em estudo é necessária uma análise detalhada segundo os seus planos: radial e tangencial. A madeira é então caracterizada através do estudo do seu grão, textura, fio e veio.

O **grão** corresponde ao tamanho dos elementos fibrosos em que quanto maior for o seu diâmetro mais grosseiro será o grão da madeira (Fabião, 1996). Compreende-se por elementos fibrosos os traqueídeos no caso das resinosas e, os vasos condutores no caso das folhosas (Martins, 2009).

A **textura** refere-se ao ritmo de crescimento da árvore, ou seja, à transição brusca ou suave entre a madeira de primavera e a madeira de outono (Cachim, 2007). Consiste então, na comparação entre os tamanhos dos anéis de crescimento e à proporção entre estes.

O **fio** é caracterizado através do alinhamento que os elementos fibrosos possuem em relação ao eixo do tronco (Martins, 2009), ou seja, é a inclinação das fibras em relação ao eixo das peças depois de laboradas. O estudo do fio trata-se com alguma importância porque é a direção das fibras que condiciona todo o comportamento da peça, desde a sua resistência até ao comportamento higrométrico (Cachim, 2007).

O **veio** da madeira é uma das propriedades mais específicas porque é o conjunto de todos os efeitos observáveis nas faces dos planos em causa. Esta observação é centrada na direção dos elementos fibrosos, nas possíveis colorações zonais ou de brilho, na intensidade do grão e na intensidade da textura (Carvalho, 1996).

## 2.3 ESTRUTURA MICROSCÓPICA

A nível microscópico a madeira é constituída por células que constituem o elemento principal no plano lenhoso e que têm como principais objetivos assegurar que a árvore cresça e se desenvolva. As suas principais funções são: de transporte para alimentar as folhas com água; de resistência de forma a sustentar a árvore; de elaboração e transformação química; de proteção, essencialmente na epiderme da árvore (Cachim, 2007).

### 2.3.1 RESINOSAS

Tal como já foi referido, a madeira de resinosas apresenta uma estrutura celular muito mais simples que as folhosas. É constituída em cerca de 90 a 95% por traqueídeos, células alongadas que têm como principais funções o transporte de seiva bruta na época de crescimento (madeira de Primavera) e de suporte da árvore quando as paredes celulares no final do ciclo de crescimento ficam mais grossas e densas (madeira de Outono) (Carvalho, 1996).

A madeira de resinosas também é constituída por células designadas por parênquimas que apresentam como principais funções a distribuição e o armazenamento de substâncias alimentares (Lopes, 2005). Na figura seguinte pode-se observar uma imagem vista ao microscópico da secção transversal de um tronco de uma árvore resinosa.

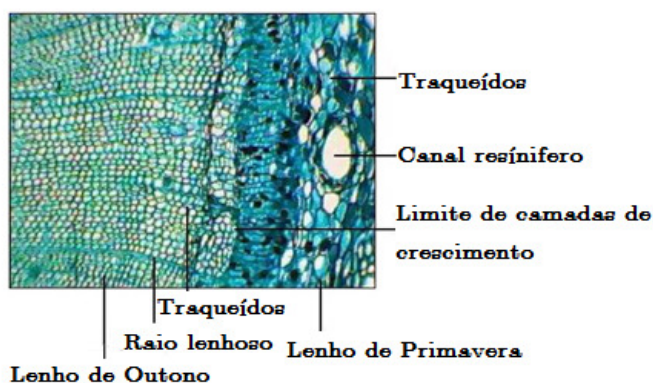


Figura 2.4 – Secção transversal de uma madeira resinosa vista ao microscópio (Martins, 2009)

### 2.3.2 FOLHOSAS

A estrutura microscópica das folhosas caracteriza-se por possuir maioritariamente dois tipos de elementos: os vasos condutores e as fibras lenhosas, também designadas por traqueídeos. Os vasos lenhosos possuem um maior diâmetro e têm como principal função o transporte de seiva. As fibras lenhosas dispõem-se longitudinalmente em redor dos vasos condutores e são responsáveis pela sustentação da árvore (Fabião, 1996).

Os anéis de crescimento, ao contrário das resinosas, não são tão nítidos, logo não são tão perceptíveis os limites das fibras da madeira de Primavera e da madeira de Outono (Correia, 2009).

Na figura seguinte pode ser observado a secção transversal de uma madeira folhosa vista ao microscópio com os seus diversos constituintes anatómicos.

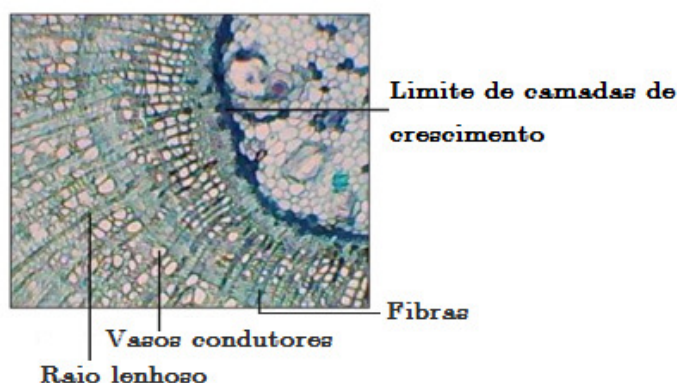


Figura 2.5 – Secção transversal de uma madeira folhosa vista ao microscópio (Martins, 2009)

## 2.4 ESTRUTURA SUB-MICROSCÓPICA

Para o estudo da madeira a este nível, como já foi referido anteriormente, é necessário recorrer ao uso de microscópios especiais com um aumento superior a 3000 vezes. Com isto, é possível observar a parede celular da célula que constitui o material madeira. Esta parede celular é composta por lamelas que podem ser de quatro tipos: parede primária, P, e três camadas de parede secundária,  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$  (Cachim, 2007); (Lopes, 2005).

A parede primária, sendo muito fina e constituída por celulose, trata-se de uma camada de transição. A camada da parede secundária apresenta como propósito a redução da anisotropia da parede, em que a camada  $S_2$  resiste à tração e à compressão longitudinal, enquanto as camadas  $S_1$  e  $S_3$  efetuam o travamento de  $S_2$  impedindo a difusão da água para evitar ações acidentais como a formação de gelo, que exerce fortes pressões sobre a parede (Cachim, 2007). Para a ligação das células entre si, existe uma camada designada de lamela média, LM, como é apresentado na figura seguinte (Lopes, 2005).

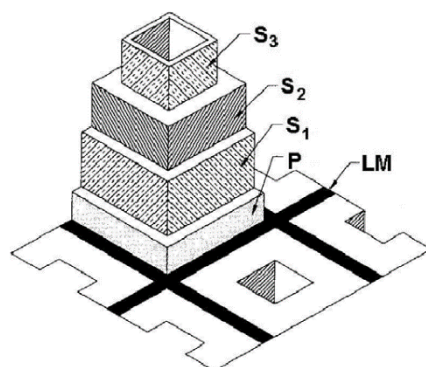


Figura 2.6 – Organização da parede celular (Alvarez, 2000)

## 2.5 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

De um forma geral, tal como sucede com qualquer ser vivo, as plantas possuem algumas substancias que fazem parte da sua constituição química. Entre as diversas espécies de madeira existentes a composição química elementar da matéria orgânica madeira varia muito pouco. A sua composição em percentagem do peso seco, em termos médios, é a seguinte: 50% de carbono, 43% de oxigénio, 6% de hidrogénio, 1% de azoto, e menos de 1% de cinzas correspondente a fósforo, potássio, cálcio e silício. Estes elementos são sintetizados em cada espécie em três componentes principais, que são essencialmente responsáveis pela formação das paredes celulares da madeira, são eles, a celulose, a hemicelulose e a lenhina (Cachim, 2007).

A **celulose** ( $C_6H_{10}O_5$ ), sendo um dos compostos orgânicos mais abundantes na terra e constituinte de todas as plantas fibrosas, constitui cerca de 40-50% da composição química da madeira. É, por definição, um macropolímero com um forte grau de polimerização, o que faz com que possua uma elevada resistência mecânica sobretudo a resistência à tração e à compressão longitudinal. Atrai quimicamente a água, considerando-se assim como um material higroscópico, responsável pela higroscopicidade da madeira. Não se altera em ambientes secos e apresenta uma maior densidade que a água. É também insípida, inodora e de cor branca (Botelho, 2006).

A **hemicelulose** constitui cerca de 20 a 30% da composição química da madeira. É, também, um macropolímero mas com um peso molecular muito inferior à celulose. A sua principal função é garantir a união entre as fibras, sem influenciar a sua dureza e/ou características mecânicas (Cachim, 2007) (Botelho, 2006).

A **lenhina** constitui, tal como a hemicelulose, cerca de 20 a 30% da composição química da madeira. É constituída por uma malha tridimensional complexa do tipo polifenólico que garante à madeira a sua durabilidade natural. Contribui também para a integridade estrutural das fibras da celulose e para a rigidez e resistência da madeira à compressão e ao corte (Cachim, 2007) (Botelho, 2006).

A composição química conta também com a presença de **outras substâncias**, como resinas, polifenóis, glicósidos, açucares e constituinte orgânicos e inorgânicos, que correspondem a

cerca de 5%. Sendo componentes de menor expressão, podem no entanto desempenhar um papel fundamental no comportamento químico da madeira, principalmente para a presa da cola, a adesão da pintura ou a durabilidade da madeira. Encontram-se localizados essencialmente no cerne e são responsáveis por tornar a sua cor mais escura (Cachim, 2007).

## 2.6 PROPRIEDADES DA MADEIRA

Como já foi referido a madeira é um material heterogéneo, ou seja, não apresenta as mesmas propriedades em todos os pontos e é também um material anisotrópico, isto é, não apresenta a mesma propriedade, com valores iguais, em todas as direções.

Das diversas espécies de madeira existentes, as principais características que as diferenciam são as propriedades físicas, que se referem às características intrínsecas independentemente da utilização a que se destina; e as propriedades mecânicas, que ao contrário das primeiras, são relevantes para o destino que se lhe pretenda dar (Martins & Araújo, 2005).

### 2.6.1 PROPRIEDADES FÍSICAS

Seguidamente são apresentadas algumas das propriedades físicas mais relevantes da madeira. É de salientar que algumas delas se devam entender mais como características do que propriedades, visto que não beneficiam o comportamento da madeira (Martins & Araújo, 2005).

#### 2.6.1.1 Teor de água

A madeira também é constituída por água, tal como todos os seres vivos. A presença desta afeta as suas propriedades e o seu comportamento mecânico tornando-se por isso fundamental o conhecimento do comportamento da madeira submetido a trocas de água com o exterior.

A água pode existir na madeira em duas formas distintas: água de saturação e a água livre. A água de saturação encontra-se infiltrada nas paredes celulares (quimicamente ligada) e que, fazendo parte destas, requer uma maior energia para a sua libertação, podendo em geral ser libertada por aquecimento em estufa a 103°C. A água livre é a que preenche os vazios celulares e é expulsa com facilidade por secagem natural ao ar. Ao conjunto das duas formas distintas de água é designado água de constituição.

Define-se teor de água ou humidade da madeira,  $H$ , como o valor percentual do peso da água da amostra em relação ao peso seco desta (após secagem em estufa a  $103^{\circ}\text{C}$ ) e considera-se igual a 12% quando se trata da determinação das propriedades da madeira. A madeira verde, ou seja, a madeira recém cortada contém, na generalidade, valores de teor de água superiores a 100%, mas quando é seca ao ar reduz para 16 a 18%.

A perda da água livre não provoca qualquer variação dimensional e ocorre de forma rápida em seções de pequena dimensão, mesmo quando expostas à chuva, contudo, em seções de grande dimensão, a perda da água livre pode durar vários anos. Quando a água livre já foi expulsa da madeira é necessária, através do uso de energia, a libertação da água saturada. Ao teor de água que corresponde esta situação, em que só está presente a água saturada, chama-se ponto de saturação das fibras, psf, e considera-se geralmente em  $H=28\%$ .

É necessário ter em consideração este valor, porque abaixo do psf as trocas de água vão originar alterações das propriedades físicas e mecânicas, retração e dilatação da madeira, e consequentes empenamentos, apesar de quando se encontra acima de 28% apenas se verifica a variação do teor de água (Cachim, 2007).

### **2.6.1.2 Higroscopicidade**

A madeira, como se já referiu, efetua trocas de água com o exterior, logo é um material higroscópico. Quando as trocas de água, que a madeira efetua com o exterior sob dadas condições ambientais são nulas, existe um ponto de equilíbrio denominado por teor de água de equilíbrio. Como as condições ambientais se encontram em constante mudança, a madeira raramente encontra este estado de equilíbrio (Cachim, 2007). Para tal, deve-se aplicar a madeira com um teor de água tanto quanto possível próximo do equilíbrio com as condições médias anuais do local onde se encontra, a fim de minimizar as trocas de água e as consequentes variações dimensionais da peça. Para a maioria das aplicações interiores o teor de água de equilíbrio poderá variar entre 12 e 16% (LNEC, 1997).

A figura seguinte apresenta valores para o teor de água de equilíbrio em função da temperatura e da humidade relativa do ar e pode-se observar que o teor de água de equilíbrio aumenta quando aumenta a humidade relativa do ar, mantendo-se constante a temperatura

do ar e diminui quando aumenta a temperatura do ar, mantendo-se constante a humidade relativa (Cachim, 2007).

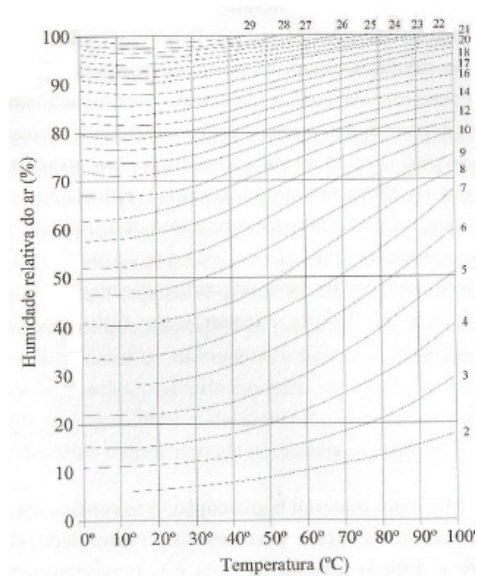


Figura 2.7 – Curvas de teor de água de equilíbrio para várias combinações temperatura/ humidade relativa do ar (Cachim, 2007)

As propriedades da madeira vão ser influenciadas pelo teor de água e pela velocidade a que estas trocas se dão com o exterior. São influenciadas também pelas trocas de teor de água existentes no interior da madeira que, tal como as exteriores, não é constante e origina muitas vezes tensões e distorções internas que poderão provocar a fissuração das peças. [1] Quanto ao teor de água que possui, a madeira pode classificar-se de acordo com o quadro que se apresenta de seguida.

Quadro 2.2 – Classificação da Madeira de acordo com o seu teor de água (Cachim, 2007)

Classe	Teor de água	Observações	
<b>Madeira saturada</b>	>70	Madeira durante longo tempo imersa em água.	
<b>Madeira verde</b>	Psf – 70	Madeira em pé ou de corte recente.	
<b>Madeira semi-seca</b>	23 - Psf	Madeira serrada em verde. Madeiras em ambientes muito húmidos e/ou frequentemente expostas à chuva.	
<b>Madeira seca</b>	18 - 23	Madeira seca (fora do risco de alteração cromática).	Construções não cobertas ou cobertas mas muito expostas (hangares por exemplo).
<b>Madeira seca ao ar</b>	13 - 18	Inverno: 16-18 Primavera/ Outono: 14-16 Verão: 12-14	
<b>Madeira dessecada</b>	0 – 13	Interiores. Ambientes aquecidos.	
<b>Madeira completamente seca</b>	0	Estabilizada em peso a 103°C. Não é possível de manter em condições ambientes pois a madeira absorverá água do ar.	

A caracterização da madeira a nível higrométrico é feita não apenas pela perda de água mas também pela capacidade que esta tem de a absorver, dependendo das condições ambientais.

### 2.6.1.3 Retração e dilatação (inchamento da madeira)

Quando a madeira altera o seu teor em água entre o estado saturado e o estado anidro, preenche ou liberta os vazios das suas paredes celulares, o que resulta na alteração das suas dimensões (Faria & Negrão. 2009). Estas variações verificadas na madeira são a causa de um elevado número de patologias e deve-se por isso ter particular atenção, desde o processo de abate até ao final de execução da obra. A alteração das suas dimensões vai depender da espécie de madeira, do volume de madeira exposta ao exterior e da direção (devido a ser um material anisotrópico).

Quer a sua retração devido à perda de água, quer o seu inchamento, devido ao aumento de teor de água, são consequência da ligação que existe entre a água e as paredes celulares, visto que são estas as responsáveis pela sua absorção. Com isto, o volume do interior da célula mantém-se constante, mas quando a água desaparece das paredes das células, a madeira vai retrair. A água livre que existe na madeira apenas faz com que os espaços das cavidades celulares fiquem mais ou menos preenchidos, não alterando o volume da madeira. Contudo, a partir do momento em que se atinge o Psf toda a água livre foi perdida encontrando-se na madeira apenas a água de saturação, que é a responsável pelo afastamento das microfibrilas (componentes das paredes celulares). Quando a água de saturação é perdida, o espaço entre as microfibrilas diminui, e consequentemente a madeira perde volume. Para o processo de perda de água obtém-se  $e_2 > e_3 > e_4 > e_5$ , como pode ser observado na figura seguinte.

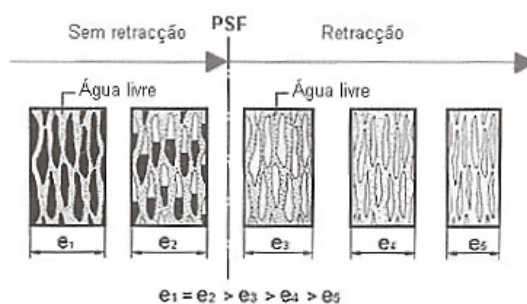


Figura 2.8 – Retração e inchamento da madeira (Cachim, 2007)

Como a água é absorvida pelas microfibrilas, os movimentos do volume da madeira nas diferentes direções vão depender destas. Como se encontram orientadas com ângulos pequenos em relação à direção longitudinal, os movimentos dimensionais da madeira vão ser essencialmente nas direções radial e tangencial.

Como se pode observar na figura seguinte, a retração e o inchamento da madeira na direção tangencial é cerca do dobro dos mesmos movimentos na direção radial. Este valor não é significativo devido à enorme diferença, cerca de 40 vezes superior, existente entre os movimentos na direção transversal e na direção longitudinal (Cachim, 2007).

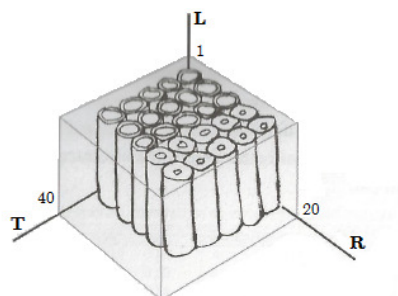


Figura 2.9 – Retração e inchamento da madeira segundo as três direções (Cachim, 2007)

É necessário ter em conta para que finalidade será usada ou aplicada a madeira, e qual a espécie mais adequada para minimizar a retração e o inchamento da mesma.

#### 2.6.1.4 Massa volúmica aparente

A massa volúmica aparente é a medida do peso da madeira por unidade de volume. É um parâmetro que varia em função do teor de água da madeira e além de influenciar o seu peso, influencia também o seu volume, visto que não é deduzido o volume compreendido pelos poros.

É de salientar que, nas resinosas, a madeira com anéis de crescimento anuais muito espessos (rápido crescimento) são mais leves do que as de anéis mais estreitos (lento crescimento), enquanto nas folhosas, as madeiras de rápido crescimento (anel largo) são mais pesadas do que as de lento crescimento (anel estreito).

O valor de massa volúmica das madeiras é condicionalmente baixo relativamente à sua resistência mecânica e módulo de elasticidade. Quando confrontada com outros materiais de

iguais características de resistência mecânica confere grandes potencialidades em relação a estes dado ao seu baixo peso (Faria & Negrão. 2009).

#### **2.6.1.5 Dureza**

A dureza da madeira é uma propriedade físico-mecânica relacionada com a resistência do material no que concerne à sua penetração, riscagem e desgaste (Faria & Negrão. 2009) e também no que diz respeito às dificuldades de laboração (aplamar, furar, pregar, etc.). De uma forma geral, pode afirmar-se que as madeiras mais densas e mais pesadas são mais duras (Cachim, 2007).

A dureza torna-se num parâmetro importante por exemplo para madeiras a aplicar no revestimento de pavimentos, que deverão ter um índice de desgaste superficial baixo e logo uma dureza elevada (Faria & Negrão. 2009).

### **2.6.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS**

A árvore apresenta uma estrutura para resistir aos esforços que vai estar submetida ao longo da sua vida. Estes são essencialmente de flexão devido ao vento, e de compressão devido ao seu peso próprio. Devido à sua anisotropia é necessário ter em conta, para o cálculo das propriedades mecânicas, as diferentes direções anteriormente descritas, pois estas apresentam diferenças significativas entre si (Cachim, 2007). Apesar das diferenças das propriedades entre o plano radial e tangencial, estas perdem importância quando comparadas com as do plano longitudinal, e é por este motivo que apenas se efetua o estudo das propriedades mecânicas na direção paralela às fibras (plano longitudinal) e, na direção perpendicular as fibras (plano radial e tangencial) (Martins, 2009).

Nos próximos pontos são apresentados as diversas propriedades da madeira, que do ponto de vista da estabilidade estrutural e, da durabilidade do material são extremamente importantes para a classificação do material, permitindo assim, uma escolha mais apropriada da espécie de madeira a ser utilizada.

#### **2.6.2.1 Resistência à tração paralela à fibra**

A tração paralela à fibra quando comparada com a resistência a outros esforços, nomeadamente à compressão axial, é bastante elevada, e pode ser até 3 vezes superior a esta

para peças livres de defeitos. Este facto deve-se à aproximação das fibras que existe quando é imposta uma força tração no sentido axial, contribuindo para o aumento da coesão e aderência da peça de madeira (Faria & Negrão. 2009) (Sardinha, 1988).

Normalmente, os elementos não sofrem rotura pela aplicação da ação isolada deste esforço, mas quando são associados a outro tipo de solicitações, os esforços de tração apresentam valores de rotura inferiores aos referidos. Como por exemplo a situação em que os esforços secundários que se instalam devido à interrupção das fibras nas zonas de ligações entre os elementos estruturais, produzindo esforços de compressão, cisalhamento, entre outros (Faria & Negrão. 2009).

### **2.6.2.2 Resistência à compressão paralela à fibra**

Tal como foi referido anteriormente, o valor de resistência à compressão axial é menor que nos esforços de tração. A coesão do elemento estrutural e a sua resistência global diminuem, essencialmente, porque a compressão no sentido axial provoca a separação das fibras longitudinais.

A resistência da madeira à compressão axial está inteiramente ligada ao teor de água porque se atinge o valor máximo de resistência à compressão quando a madeira se encontra no estado anidro, e mínimo, quando supera o ponto de saturação de 30% de teor de água. Os seus valores também podem ser ligados à massa volúmica da espécie de madeira, já que, quanto maior for esta grandeza, maior será o valor de resistência à compressão axial (Faria & Negrão. 2009).

### **2.6.2.3 Resistência à Flexão**

Uma peça encontra-se sujeita a esforço de flexão quando as cargas atuam em vários pontos isolados ou quando estão distribuídas em todo o comprimento (Martins & Araújo, 2005). A resistência a este tipo de esforço é provavelmente a propriedade mais importante da madeira uma vez que a maior parte dos elementos estruturais se encontram submetidos a ele (Cachim, 2007), como por exemplo, as vigas de um pavimento (Martins & Araújo, 2005). A resistência à flexão da madeira, quando comparada com outros materiais de construção,

apresenta valores elevados, sobretudo quando relacionada com a sua densidade (Cachim, 2007).

Como se pode observar na figura seguinte os esforços de flexão vão provocar esforços de tração e compressão nas secções das peças. Como o limite de resistência à compressão é atingido antes de se atingir a resistência à tração, as fibras da face superior começam a plastificar e as fibras neutras vão progressivamente deslocando-se para baixo, em direção às fibras tracionadas. A rotura pode ocorrer por tração com estilhaçamento das fibras quando se atinge a tensão de rotura à tração das fibras inferiores (Cachim, 2007).

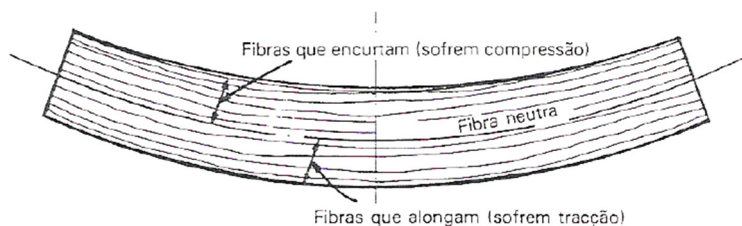
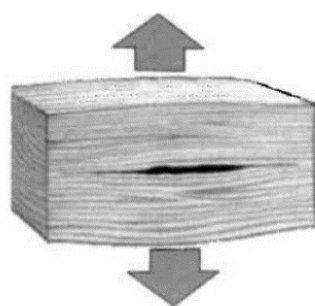


Figura 2.10 – Efeito do esforço de flexão (Martins & Araújo, 2005).

#### 2.6.2.4 Resistência tração perpendicular à fibra

A resistência da madeira à tração perpendicular à fibra (figura 2.11) é muito baixa, ou seja, 30 a 70 vezes menor que a tração paralela (Cachim, 2007).

Esta baixa resistência é justificada devido ao reduzido número de fibras que a madeira apresenta no sentido transversal. Este facto provoca a falta de travacção transversal das fibras longitudinais e a debilidade das ligações intercelulares transversais (Faria & Negrão, 2009).



2.11 – Tração perpendicular à fibra (Cachim, 2007)

### 2.6.2.5 Resistência à compressão perpendicular à fibra

A resistência à compressão perpendicular à fibra é, tal como nos esforços de tração, muito inferior à correspondente na direção paralela. Na figura seguinte pode-se observar o comportamento da madeira solicitada a este tipo de esforço.

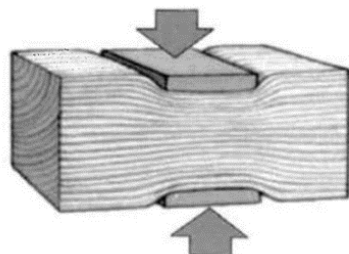


Figura 2.12 – Compressão perpendicular à fibra (Cachim, 2007)

As compressões perpendiculares às fibras ocorrem sobretudo nas zonas de apoio das vigas, onde se deve ter particular atenção, porque a carga vai ser concentrada em pequenas superfícies e estas devem ser capazes de transmitir o esforço à reação de apoio sem sofrer deformações (Cachim, 2007).

### 2.6.2.6 Resistência ao corte ou escorregamento

A resistência ao corte ou ao escorregamento origina tensões tangenciais que podem ocorrer no plano paralelo às fibras de madeira ou, perpendicularmente a este. Quando as tensões tangenciais são aplicadas no plano paralelo das fibras de madeira, estas vão deslizar umas sobre as outras e provocar um deslizamento. O corte perpendicular às fibras ocorre quando estas são cortadas transversalmente devido ao esforço atuante. Geralmente neste plano a rotura por corte não chega a acontecer uma vez que antes vai ocorrer um esmagamento (Cachim, 2007).

Os valores da resistência ao corte são obtidos através de ensaios realizados no caso de tensões tangenciais paralelas às fibras (deslizamento) por este se tratar do caso mais desfavorável (Faria & Negrão, 2009).

### 2.6.3 PRINCIPAIS FATORES QUE INFLUENCIAM AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

Existem vários fatores que influenciam as características e o comportamento da madeira, originando variações nas suas propriedades e provocando, na maioria das vezes fenômenos prejudiciais. Estes fatores podem ter origem na sua anatomia (espécie botânica; localização do elemento de madeira no tronco da árvore; existência de defeitos) e também no meio envolvente em que a madeira se insere (teor de água; temperatura; duração da carga; efeito de volume). Seguidamente é apresentada uma breve descrição dos mesmos.

**Espécie botânica:** é um fator que condiciona a constituição química e estrutural dos elementos de madeira e define o seu comportamento químico e mecânico, sendo diferente para cada espécie existente (Faria & Negrão. 2009).

**Localização do elemento de madeira no tronco da árvore:** a percentagem de borne e de cerne variam em função da altura da árvore, logo a zona do tronco de onde é retirada a peça de madeira influencia as suas características físicas e mecânicas (Faria & Negrão. 2009).

**Existência de defeitos:** a existência de defeitos na estrutura lenhosa é condicionada pelo crescimento da árvore e as condições a que esta está sujeita durante o seu crescimento. Os principais defeitos que influenciam as propriedades da madeira são: a existência de nós, de fendas, de bolsas de resina e desvios da fibra (inclinação do fio) (Martins, 2009).

**Teor de água:** é um fator extremamente condicionante no comportamento e nas propriedades da madeira porque quando este aumenta diminui a resistência e o módulo de elasticidade. Como se pode verificar no gráfico da figura seguinte apenas para teores de água abaixo do ponto de saturação das fibras é que a variação da resistência ocorre, acima deste valor não se verificam alterações (Cachim, 2007).

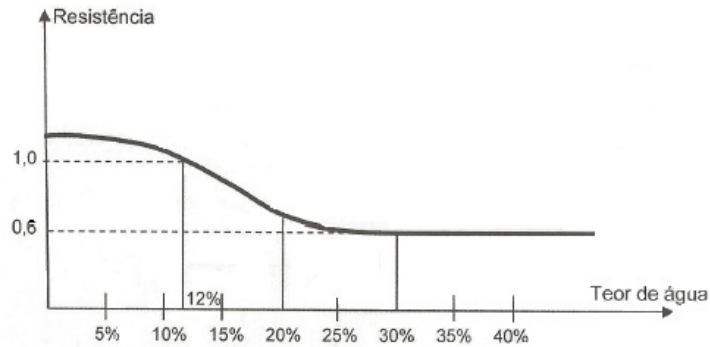


Figura 2.13 – Efeito do teor de água na resistência da madeira (Cachim, 2007)

**Temperatura:** não se apresenta como um fator condicionante sobre as características físicas e mecânicas, contudo para temperaturas elevadas e de forma constante a madeira pode sofrer uma variação das suas propriedades (Faria & Negrão, 2009); (Martins, 2009).

**Duração da carga:** pode-se apresentar através de dois fenómenos diferentes, fadiga e fluência. A fadiga corresponde ao aumento da deformação com o tempo sujeita a uma carga periódica enquanto a fluência corresponde a um aumento da deformação sujeita a uma carga permanente (Martins, 2009). Quando a carga é de curta duração a madeira de baixa qualidade apresenta uma melhor resistência devido a existência dos nós. Quando a carga é de longa duração este efeito é de menor importância devido ao comportamento viscoso que a madeira possui (Cachim, 2007).

**Efeito de volume:** este efeito traduz uma relação entre a resistência da madeira e o tamanho das peças, de tal forma que quanto maior for a peça, menor é a tensão de rotura (Cachim, 2007) (Cachim, 2007).

## 2.7 COMPORTAMENTO TÉRMICO DA MADEIRA

A madeira, tal como todos os materiais de estrutura celular, possui um bom comportamento térmico dado que, é um mau condutor térmico e conseqüentemente apresenta um valor para o coeficiente de condutibilidade térmica baixo, principalmente quando comparado com outros materiais.

A condutibilidade térmica é uma propriedade de um material homogêneo definida como a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma camada de espessura e de áreas unitárias por unidade de diferença de temperaturas entre as superfícies opostas do material. Apresenta um valor característico para cada material e é influenciada pela existência de cavidades ocupadas por ar, por exemplo em materiais porosos ou alveolares,

como é o caso da madeira. De uma forma geral, a condução do calor resulta da transferência de vibrações entre moléculas, sendo a capacidade de condução dependente da composição química, da macroestrutura e da textura do material. A madeira apresenta-se então como um mau condutor de temperatura devido à sua estrutura porosa e à baixa condutibilidade térmica do próprio material lenhoso.

Tendo em conta a anisotropia da madeira é necessário acrescentar, que tal como outras características, a condutibilidade térmica vai variar consoante os eixos considerados. Devido à continuidade das fibras de madeira vai ser mais elevada na direção longitudinal e mais fraca nas direções transversais, devido à porosidade. Esta propriedade térmica é proporcional à densidade e à taxa de higroscopicidade da madeira devido essencialmente a uma redução da porosidade. Vai diminuir com o aumento da temperatura e aumentar com a humidade do material.

As aparas de madeira são muitas vezes utilizadas como constituintes de materiais de isolamento térmico (Cachim, 2007).

## 2.8 COMPORTAMENTO ACÚSTICO DA MADEIRA

O comportamento acústico da madeira, tal como qualquer material, está relacionado com dois aspetos distintos: a sua capacidade de isolamento acústico e a sua capacidade de absorção acústica (Cachim, 2007).

O isolamento acústico refere-se à capacidade de alguns materiais formarem uma barreira, impedindo que a onda sonora progrida num determinado meio. Esta função vai depender da frequência do som incidente, do ângulo de incidência e principalmente da massa do elemento (maior densidade equivale a maior capacidade de isolamento) (Marques et al., 2010). O índice de redução sonora de elementos de compartimentação homogêneos, simples, em função da sua massa superficial (Lei da massa), pode ser estimado de acordo com o ábaco apresentado na figura seguinte.

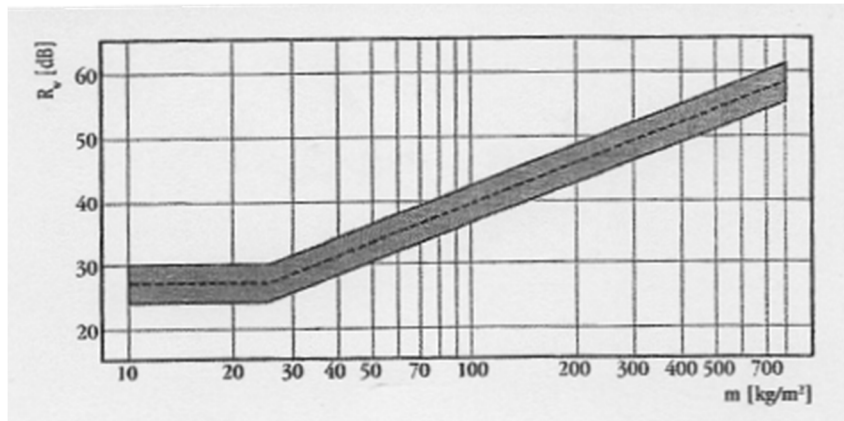


Figura 2.14 – Índice de redução sonora em função da massa do material (Lei da massa)(Silva, 1985)

Quando se trata o estudo de um material a nível acústico, além de se ter em conta a sua capacidade de isolamento acústico, deve-se também ter em atenção as suas características em termos da sua capacidade de absorver o som, isto é, o seu coeficiente de absorção sonora ( $\alpha$ ). O coeficiente de absorção sonora é a relação existente entre a quantidade de energia sonora que é absorvida por determinado material e aquela que sobre ele incide, varia entre 0 e 1. Por exemplo, se um material apresenta o valor de 0,1 para o índice de absorção sonora significa que absorve 10% da energia que sobre ele incide e reemite os restantes 90%.

A absorção acústica refere-se à capacidade de certos materiais, devido à sua constituição, minimizarem a reflexão das ondas sonoras num mesmo ambiente, ou seja, diminuir ou eliminar o nível de reverberação. Contrariamente aos materiais de isolamento, para a absorção acústica os materiais devem ser leves (baixa densidade) e fibrosos. Geralmente um material que tem grande poder de absorção acústica quase não tem poder de isolamento acústico (e vice-versa) (Marques et al., 2010).

A madeira, como já foi referido anteriormente, apresenta uma estrutura celular fibrosa e porosa que através do atrito por fricção entre as fibrilas vai converter a energia sonora em energia calorífica conseguindo assim amortecer as vibrações numa escala bastante superior a outros materiais. Por esse motivo, o material em estudo, apesar de ser pouco indicado para isolamento acústico é considerado um bom material para a absorção acústica, sendo por vezes um material de base para produtos de insonorização.

## 2.9 COMPORTAMENTO AO FOGO DA MADEIRA

A madeira, tal como já foi referido anteriormente, é constituída principalmente por carbono, hidrogénio e oxigénio e é por isso considerado um material combustível, quase impossível de torná-lo incombustível (Cachim, 2007). Isto conduziu a que se tenham enraizado ideias incorretas do comportamento ao fogo da madeira porque apesar da sua elevada combustibilidade, apresenta, principalmente quando comparada com outros materiais, uma elevada resistência ao fogo (Lopes, 2005).

Para o estudo da madeira exposta ao fogo é necessário ter em conta as características que mais influenciam o seu desempenho, sendo elas as características térmicas e as características relacionadas com a sua resistência e rigidez que por sua vez estão relacionadas com outros fatores intrínsecos da madeira tal como a densidade, o teor de água, a inclinação do fio, a permeabilidade, a condutibilidade térmica e fatores externos como a temperatura de exposição ao fogo, duração da exposição e a ventilação no ambiente (IPL, 2012).

Tal como foi referido em 2.7, a madeira, apresenta uma baixa condutibilidade térmica e sendo um material mau condutor de calor vai dificultar a elevação de temperatura nas zonas contíguas às que se encontram em combustão e evita a dilatação excessiva da estrutura. As estruturas de tecidos que constituem a madeira permitem o aprisionamento de inúmeras massas de ar no seu interior, funcionando como um conjunto isolante (Anastácio, 2010).

Quando a madeira atinge os 100°C, dá-se a evaporação da água através dos cantos e fendas que esta constitui (Lopes, 2005). Após a ignição, a sua superfície incendeia-se e arde rapidamente, transformando-se a madeira ardida numa camada de carvão. Esta camada, também designada por madeira carbonizada, apresenta uma condutibilidade térmica de cerca de 1/6 da madeira maciça o que vai dificultar a transmissão de calor e a propagação do fogo para o interior. Sob a camada carbonizada existe uma outra camada, designada por camada de pirólise, com aproximadamente 5 mm de espessura na qual a madeira está alterada mas não completamente decomposta. A parte interior da secção vai-se manter a uma temperatura baixa e com capacidades mecânicas e físicas originais, contribuindo para a resistência da estrutura. Esta zona é representada na figura seguinte como a secção residual (IPL, 2012).



Figura 2.15 – Seção de uma viga exposta ao fogo durante 30 min. (IPL, 2012)

A figura 2.15 resultou de um estudo prático em que se expôs ao fogo uma viga de madeira durante 30 minutos. A temperatura entre a camada de madeira carbonizada e a camada de pirólise foi de aproximadamente de 280°C. A viga (seção residual), tal como se verifica na figura, ainda se mantém em bom estado de utilização, podendo ser reaproveitada após uma avaliação das suas propriedades através dos métodos que serão apresentados no subcapítulo 4.4.

## 3 PAVIMENTOS DE MADEIRA

### 3.1 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

Devido à sua abundância na natureza, às suas excelentes características mecânicas e à sua facilidade de obtenção, a madeira é utilizada na construção desde os tempos mais remotos. As estruturas da pré-história tinham como objetivo dar abrigo. Eram construídas com ramos de árvores enterrados, amarrados e fletidos nos topos. Posteriormente eram cobertas por folhagens formando uma cúpula, como pode ser verificado na figura seguinte.

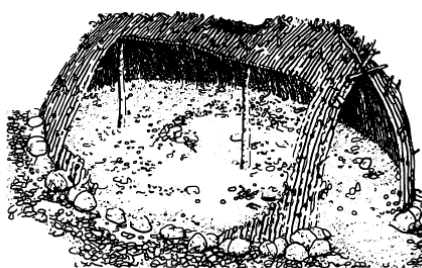


Figura 3.1 – Esboço de uma cabana pré-histórica (Cachim, 2007)

Entre 3000 a 1000 a.C. o homem desenvolveu a sua prática com os metais, tornando-se mais fácil cortar e moldar a madeira, provocando também um desenvolvimento nos sistemas de ligações com a utilização de pregos e cavilhas. O homem torna-se então sedentário e as habitações deixam de ser destinadas só ao abrigo. Começam a surgir as primeiras grandes comunidades com zonas para comércio e para habitações, ambas em madeira, maiores, mais complexas e de várias formas.

Após a idade do bronze e do ferro, surgiu na Europa (que progrediu de sul para norte) a construção com troncos sobrepostos e com os cantos encaixados (figura 3.2). Este processo de construção, utilizado também pelos colonos na América do Norte, apresenta-se de simples realização visto que requer apenas um machado para a sua construção e um perfeito entalhe nas zonas dos apoios. Apesar de simples, esta técnica, acabou por não prevalecer porque pressupunha o uso de muitas árvores o que, com o grande crescimento da população, levou ao desaparecimento de grandes áreas florestais.



Figura 3.2 – Réplica de uma construção por encaixe de troncos (National Park Service, 2013)

Este sistema, em algumas zonas, continua a ser utilizado provavelmente para manter viva a tradição.

Nas civilizações mais antigas, romana, grega e egípcia, apesar de usarem maioritariamente a pedra para a construção de grandes edifícios, usavam a madeira para a construção das coberturas e dos vários pavimentos constituintes dos mesmos. Existem poucos documentos e imagens que nos permitem conhecer um pouco dos sistemas e técnicas utilizadas nesta altura, devido essencialmente aos incêndios provocados pelas inúmeras guerras. Os romanos utilizavam também a madeira na construção de cofragens para a execução de estruturas de pedra como pontes e aquedutos, e para a construção dos seus templos utilizavam asnas trianguladas que permitiam vencer vãos até 30 metros.

No sistema construtivo antigo Chinês, também se desenvolveram estruturas de madeira, apresentando grandes complexidades a nível das ligações. O aparecimento do ferro, e respetivas ferramentas permitiu uma evolução rápida na construção e é a partir desta altura, que as formas da arquitetura chinesa se consolidam e atingem a maturidade (desde aproximadamente 700 a.C. até ao século XIX). Encontrou-se na madeira o material ideal para apaziguar alguns problemas sísmicos com que a região asiática oriental se deparava (Brites, 2011). Existem na China, nos dias de hoje, templos e pontes de madeira com mais de 1000 anos que continuam no seu bom estado de conservação e a serem utilizadas todos os dias. A ponte que se apresenta na figura seguinte foi construída entre os anos de 1127 a 1279, mede 62,7 metros e tem uma altura de aproximadamente 5 metros (Greensavers, 2013).



Figura 3.3 – Ponte em madeira com mais de 1000 anos, China (Greensavers, 2013)

Com a queda do império Romano, no ano 476 d.C. dá-se o início da idade média, período de aproximadamente 1000 anos que ficou caracterizado pela perda e dispersão de muitos avanços tecnológicos (Brites, 2011).

Durante este período, na Europa, a construção em madeira era corrente, principalmente na construção de casas e celeiros. Na construção de casas maiores e pertencentes aos grandes senhores da época as paredes já eram feitas de alvenaria, contudo na construção de pavimentos e coberturas ainda era utilizado o material em estudo. Ao longo deste tempo desenvolveram-se técnicas de ligação, passando a utilizar-se com maior frequência elementos metálicos para facilitar as ligações. No início do segundo milénio, as técnicas de construção em madeira já se encontravam muito aperfeiçoadas e permitiram a construção de estruturas que também duraram até aos nossos dias. Um exemplo pode ser verificado na figura que se segue, uma Igreja na Noruega construída em 1180 (Panoramico, 2013).



Figura 3.4 – Igreja em Alesund, Noruega (Panoramico, 2013)

A madeira, como material, teve durante alguns séculos, um papel importante na economia portuguesa porque, para além de ser usada na construção de edificações, era também usada na construção de mobiliário, e mais importante ainda, de embarcações. Na construção dos

edifícios e do mobiliário era usado maioritariamente o castanho, enquanto nas embarcações era utilizado o carvalho.

No que diz respeito à construção de pavimentos, a espécie de madeira mais utilizada para as vigas era o pinho bravo, embora também se utilizassem outras espécies como o carvalho, a casquinha, o castanho, o choupo, entre outros (Costa, 1955). Com o aparecimento das rotas de comércio marítimas, rapidamente estas espécies foram substituídas pelo pinho de riga. Os troncos de pinho de riga eram inicialmente usados como lastro em navios que vinham da Europa e quando chegavam ao cais do Porto eram trocados por mercadorias. Devido à sua abundância, a Coroa Portuguesa incentivava o seu uso para desobstruir o porto de entulhos. Para os construtores da época era mais prático e mais barato ir ao cais buscar a madeira que fez com o que o pinho de riga se tornasse a espécie de madeira mais utilizada nas construções (SRU, 2013). Para os soalhos era usada madeira de pinho ou casquinha (Costa, 1955). Os elementos constituintes dos pavimentos são tratados mais pormenorizadamente no subcapítulo 3.2 da presente dissertação.

Após a revolução industrial, século XIX, e com a introdução do betão e do aço, a madeira começou a perder a sua importância na componente estrutural e as suas aplicações viram-se resumidas a pequenas estruturas residenciais.

Em Portugal a prática do uso da madeira restringiu-se à construção das coberturas e dos pavimentos das habitações, devido ao facto de os novos materiais ainda serem demasiado caros. Contudo, estes materiais foram sofrendo uma diminuição progressiva a nível monetário e a madeira foi rapidamente sendo substituída durante o final do século XIX e o início do século XX. A introdução dos novos materiais oferecia uma maior resistência e permitiam vencer vãos maiores, fazendo as estruturas de madeira cair em desuso nos edifícios habitacionais portugueses.

Entre as razões para o desinteresse na indústria da construção em madeira podem referenciar-se a pouca qualidade da madeira para fins estruturais produzida em Portugal, a falta de certificação da madeira existente e a dificuldade em interpretar a pouca normalização no que se refere ao bom funcionamento deste tipo de estruturas. Contudo, nos últimos anos foram desenvolvidos métodos e produtos para ultrapassar os principais entraves

à sua utilização. Com o aparecimento dos produtos derivados da madeira houve uma diminuição das limitações que este tipo de estrutura tinha, nomeadamente nas dimensões das peças, no comportamento mecânico e na existência de defeitos que prejudicavam em muito a estrutura.

Atualmente tem-se verificado uma crescente utilização da madeira como material estrutural (figura 3.5) devido, essencialmente, a questões ligadas à sustentabilidade, à proteção do meio ambiente e ao aparecimento de normas que permitem um correto dimensionamento das estruturas de madeira.

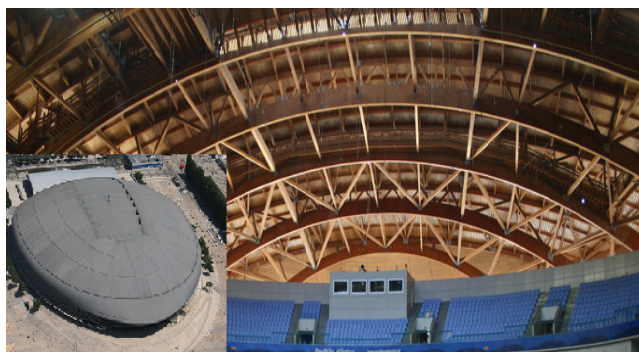


Figura 3.5 – MEO Arena, Lisboa (Tipsguide, 2013)

### 3.1.1 O CASO DA CIDADE DO PORTO

#### 3.1.1.1 Caracterização construtiva e funcionamento estrutural dos edifícios

*“O Porto é uma cidade grande feita de casas pequenas – e, aqui e além, alguns raros palácios discretos; e é precisamente esta antinomia, e sobretudo a maioria esmagadora de casas estreitas e altas, que dá razão da irregularidade desconcertante que de entrada nos surpreende: ruas caprichosas, promíscuas, falhas de grandeza e unidade visual, assemelhando-as a prateleiras de livros mal arrumadas”*

*(Oliveira & Galhano, 2003)*

Em primeira análise, os edifícios da cidade do Porto, não apresentam semelhanças entre si devido à diversidade de cotas e de dimensões que definem os volumes das várias edificações aí existentes. Contudo, à medida que se percorrem as ruas, é possível descobrir algumas semelhanças que permitem dividi-los em dois grandes grupos que vão definir as duas soluções fundamentais da habitação urbana, a horizontalidade e a verticalidade. (figura 3.6)



a) Horizontal



b) Vertical

Figura 3.6 – Soluções de habitação urbana

No primeiro grupo de edifícios, o mais raro e normalmente disperso pela cidade, apresenta casas largas e baixas, com linhas horizontais, compostas essencialmente por rés-do-chão e primeiro andar com numerosas portas e janelas de fachada. Com o seu desenvolvimento em solução horizontal, como se verifica na figura 3.7, dispunha de muito espaço conferindo a este tipo de habitação algum prestígio, sendo-lhe atribuído o nome de casa nobre (PARC, 2011).



Figura 3.7 – Esquema estrutural de uma casa nobre da cidade do Porto (Dias, 2008)

O segundo grupo de edifícios, o da verticalidade, apresenta-se como sendo o mais comum e por conseguinte é o que se considera o típico da cidade do Porto. A sua casa estreita e alta, em média com 3 a 4 andares (podendo algumas chegar aos 7 devido aos aumentos efetuados) associava a residência com a atividade comercial. Pertencente à burguesia, continha no rés-do-chão as lojas, pequenos armazéns ou oficinas e nos pisos superiores a habitação. Este estilo de habitação urbana é denominado por diversos autores como a “Casa Burguesa do

Porto”, que sendo originária do antigo burgo ainda hoje predomina nas ruas do coração da cidade desde o século XVII, acompanhando sempre a evolução dos estilos e técnicas da classe de que é própria (PARC, 2011).

O comportamento estrutural destes edifícios, que se desenvolvem em solução vertical, é composto apenas por 4 paredes principais de alvenaria de granito, duas fachadas e duas empenas, com funções de resistência e em que os pavimentos desempenham um papel de grande importância. (figura 3.8)

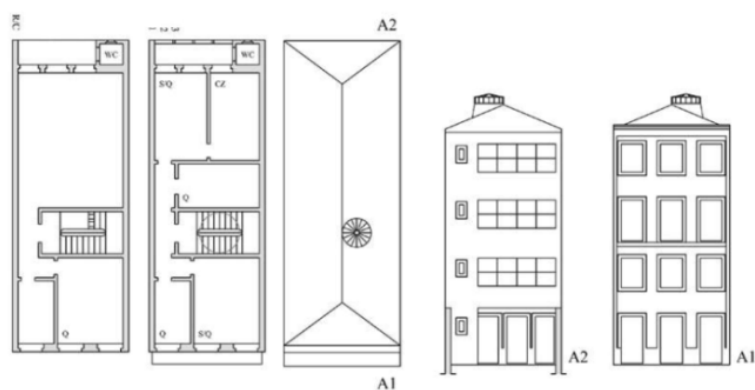


Figura 3.8 – Esquema estrutural tipo da Casa Burguesa do Porto (PARC, 2011)

Enquanto as fachadas são normalmente em duas folhas de alvenaria de granito e preenchidas com um enchimento (pedra com uma mistura de saibro e cal), as empenas apresentam somente uma folha (simples), também do mesmo material. As paredes interiores são em tabique e desempenham funções estruturais quando se encontram perpendiculares às empenas na zona da caixa-de-escadas porque são reforçadas com tábuas (uma na vertical e outra inclinada). Este sistema, do tipo escora-tirante, melhora o seu comportamento no plano, as ligações aos pavimentos e auxilia no apoio das escadas.

Os pavimentos são constituídos por vigas tarugadas de secção circular, muitas vezes falqueadas, que apoiam nas empenas e por isso encontram-se orientados paralelamente à fachada principal. O seu revestimento era feito com soalho macheado e a nível inferior das vigas eram constituídos consecutivamente por barrotes de madeira, fasquio de madeira e por fim, para um melhor acabamento, uma argamassa de saibro e cal com camada de estuque.

As coberturas, tal como os pavimentos, também tinham como base estrutural a madeira e os elementos estruturais, na sua generalidade, também apresentavam uma secção circular (Oliveira & Galhano, 2003).

*“que, ..., esse esqueleto se conserve, com a compreensão, o respeito e o carinho que merece um padrão do velho Porto e do viver dos nossos avós, a quem devemos muito do melhor que somos”*

*(Oliveira & Galhano, 2003)*

### **3.1.1.2 Sociedade de Reabilitação Urbana**

Através dos dados publicados no instituto nacional de estatística é perceptível que nas últimas décadas, embora se verifique um aumento da população no grande Porto, tem havido uma diminuição da população residente no concelho, isto é, no centro histórico da cidade (INE, 2013). Isto demonstra que a população estava a abandonar a cidade rumo à sua periferia. Este movimento migratório deveu-se, essencialmente, às condições de habitabilidade a que os residentes se tinham de sujeitar. Os edifícios foram perdendo as suas características e ficando degradados devido à falta de intervenções de manutenção ou mesmo de operações de reabilitação profunda. Isto induziu a que a população residente procura-se na periferia zonas de habitação em melhor estado e com um custo inferior, tornando o centro histórico desprovido de habitantes, de comércio e conseqüentemente de turistas. Com o aparecimento das viagens low cost, verificou-se nos dois últimos anos um aumento de turistas e comércio e com a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 104/2004 houve a oportunidade de criar uma entidade que promove a reabilitação do centro urbano da cidade do Porto, – a Porto Vivo, SRU (SRU, 2013).

A Porto Vivo, SRU – Sociedade de Reabilitação Urbana da Baixa Portuense S.A., tem como principais funções, elaborar a estratégia de intervenção e atuar como mediador entre proprietários e investidores, entre proprietários e arrendatários e, em caso de necessidade, tomar a seu cargo a operação de reabilitação, com os meios legais de que dispõe. Após a realização de diversos estudos sobre a caracterização dos edifícios, da população e do sector

económico da Baixa Portuense e do seu Centro Histórico, a SRU definiu como os seus principais objetivos:

- A reabilitação da Baixa do Porto;
- O desenvolvimento e promoção do negócio na Baixa do Porto;
- A revitalização do comércio;
- A dinamização do turismo, cultura e lazer;
- A qualificação do domínio público.

Para a aplicação destes objetivos foi definida uma área de atuação de reabilitação urbana que, estatutariamente, pertence à Porto Vivo, SRU. A área de intervenção, com cerca de 1000 hectares, foi denominada por Área Crítica de Recuperação e Reversão Urbanística (ACRRU) e os seus limites podem ser observados na figura que se apresenta de seguida.

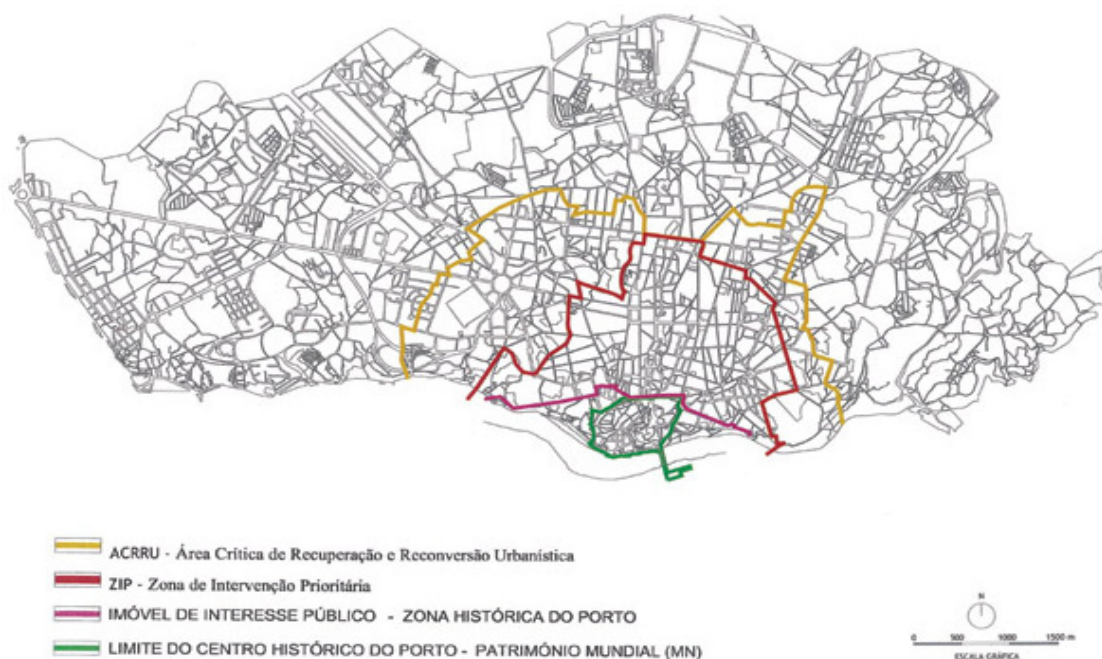


Figura 3.9 – As diferentes áreas da reabilitação urbana (SRU, 2013)

Por motivos operacionais e de logística foi delimitada uma área menor onde será concentrado o esforço da reabilitação, denominada por Zona de Intervenção Prioritária (ZIP). A ZIP, identificada na figura 3.9, corresponde a uma área de aproximadamente 500 hectares e a sua delimitação foi baseada em análises efetuadas em que os principais critérios foram a degradação urbana, económica e social. É constituída pelo Centro Histórico do Porto

(classificado como Património da Humanidade), a Baixa tradicional e áreas substanciais das freguesias do Bonfim, Santo Ildefonso, Massarelos e Cedofeita (SRU, 2013).

## 3.2 ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DOS PAVIMENTOS

Ao longo dos tempos, a constituição dos pavimentos estruturais de madeira, manteve-se pouco variável. A sua constituição é formada essencialmente pelo vigamento e pelo soalho que permitem a excelente funcionalidade destas estruturas. Apresentam também estruturas secundárias, tais como os tarugos e as cadeias, que têm como propósito tornar o conjunto mais homogéneo e melhorar o funcionamento destas estruturas horizontais no que toca a ações pontuais ou no próprio plano da estrutura. Na figura seguinte é apresentada a solução construtiva mais utilizada, até aos dias de hoje, de um pavimento estrutural de madeira.

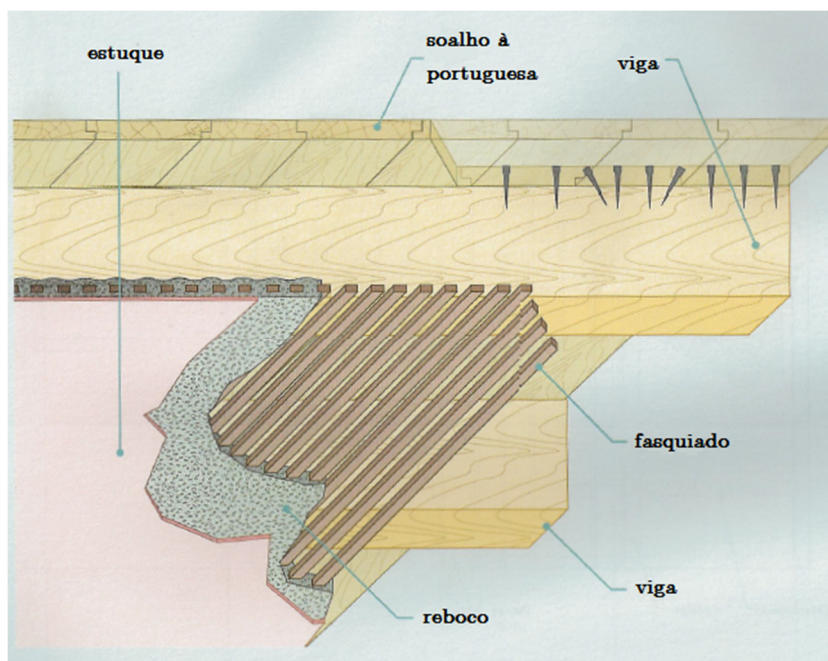


Figura 3.10 – Pavimento de madeira (Appleton, 2003)

### 3.2.1 VIGAMENTOS

Os vigamentos são os principais constituintes dos pavimentos, não descurando os outros, devido a serem os responsáveis pela resistência e rigidez dos mesmos. Consistem numa serie de vigas ou barrotos, dispostos paralelamente e com um pequeno intervalo entre si. Inicialmente estes elementos eram materializados por um tronco de madeira maciça (secção circular), tendo mais tarde começado a utilizar-se vigas esquadriadas, de secção retangular.

A secção das vigas dos elementos horizontais depende essencialmente do espaçamento entre elas, da espécie de madeira a ser utilizada, das respetivas sobrecargas e principalmente do vão a vencer.

### 3.2.1.1 Apoios nas paredes

Nas estruturas de madeira as ligações entre o vigamento e a parede representam, geralmente, os pontos mais sensíveis da estrutura, podendo condicionar o comportamento do conjunto no que respeita aos estados limite últimos, durabilidade e a resistência ao fogo. A deficiente conceção das ligações pode originar inúmeras patologias e condicionar mesmo a estabilidade das estruturas.

Os apoios, segundo (Costa, 1955), eram efetuados nas paredes estruturais com uma determinada dimensão de penetração dos vigamentos. As estregas das vigas deviam ter no mínimo 0,20 a 0,25 metros para além da face da parede para assim obter uma melhor estabilidade e uma redução adequada de vibrações.

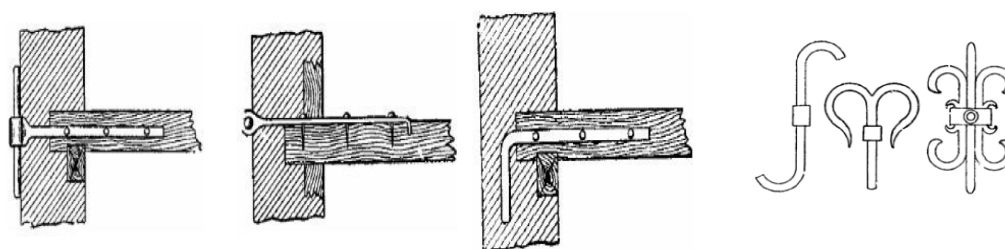
Segundo (Teixeira, 2004), era usual aplicar uma regra que ia no sentido de apoiar a viga em 2/3 da espessura da parede, chegando muitas vezes a apoiar-se em toda a sua largura. Esta última opção poderia trazer problemas à estrutura, se a parede em causa fosse exterior, porque um dos topos das vigas iria estar mais exposto a agentes atmosféricos. Nestes casos, de forma a evitar o apodrecimento da madeira, os seus topos recebiam um tratamento com tinta de óleo ou alcatrão. Este último pode ser observado na figura seguinte.



Figura 3.11 - Entregas de vigas com tratamento através de alcatrão

Outro método para ligar as vigas de madeira às paredes era a utilização de ferrolhos. Estes consistiam em barras metálicas achatadas, com furos para pregar ou aparafusar às vigas e que, posteriormente se prendiam à parede através da colocação de chavetas na parte

exterior. Estes elementos se não fossem devidamente tratados, degradavam-se com alguma frequência, devido aos agentes atmosféricos. Para contrariar este facto ou quando não se podia ou não se queria deixar as chavetas à vista, usava-se os ferrolhos de esquadro, que ao contrário dos anteriores que eram retos, estes faziam um ângulo de 90º graus e ficavam embutidos na parede, figura seguinte.



a) Ferrolhos de ligação exterior ou em esquadro

b) Chavetas

Figura 3.12 – Exemplo de ferrolhos e chavetas (Segurado, 1942)

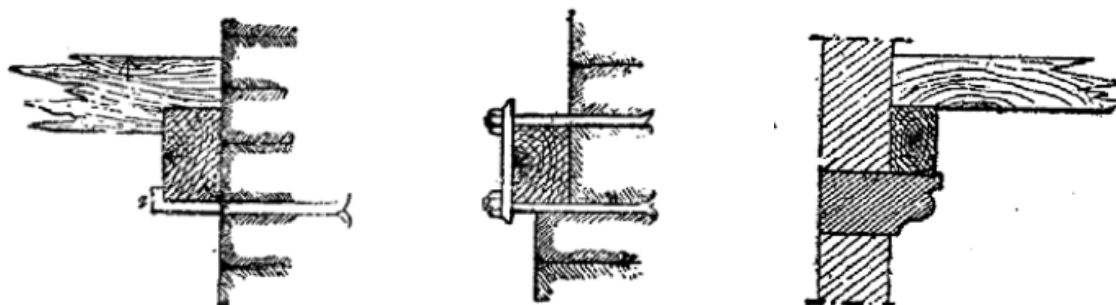
A ligação através de ferrolhos em esquadro era mais vantajosa porque diminuía as deformações e vibrações do pavimento, garantia a estabilidade das paredes dos edifícios e permitia uma menor exposição das vigas aos agentes atmosféricos.

Outro tipo de ligação utilizada era instalar nas paredes, cachorros de pedra salientes para dentro dos compartimentos onde iam assentar as vigas. Esta solução tinha o inconveniente de interferir no aspeto do compartimento inferior mas a vantagem de a viga ficar menos exposta à humidade (Segurado, 1942).

Quando as paredes apresentavam uma constituição mais ligeira, como as de tabique, eram usados frechais corridos e embutidos nas paredes, o que permitia uma melhor distribuição de cargas, impedindo carregamentos pontuais das vigas nas paredes (Segurado, 1942). Os frechais apresentavam geralmente uma seção de 0,10x0,10m<sup>2</sup> (Costa, 1955) e a sua fixação às paredes era realizada através de várias soluções. Eram utilizados simples elementos de ferro (em consola), suportando o frechal encostado à parede e sobre o qual apoiava o vigeamento. Por vezes também eram utilizados ferrolhos ou cavilhas chumbadas às paredes e terminavam numa parte roscada que atravessava a viga e era apertada por uma porca ou anilha. Outro método usado era a utilização de duas cavilhas chumbadas, uma por baixo e

outra por cima da viga e juntas nos dois extremos por uma barra, sobre a qual apertavam as porcas (Segurado, 1942).

Como solução, eram também usados, cachorros embebidos nas paredes, sobre os quais se colocavam os frechais, onde posteriormente eram apoiadas as vigas.



a) Elemento de ferro a suportar o frechal

b) Frechal fixado por duas cavilhas

c) Cachorro embebido na parede dando apoio ao frechal

Figura 3.13 – Alguns métodos utilizados na fixação de frechais (Segurado, 1942)

### 3.2.1.2 Espaçamentos entre vigas

As publicações Manual da Carpintaria (Segurado, 1942) e a Enciclopédia da Construção Civil (Costa, 1955) propõem que a secção das vigas e o seu afastamento devem ser proporcionais ao vão e à carga a que estas vão estar sujeitas, não sendo, mencionado o tipo de madeira utilizado o que era importante visto que cada tipo tem as suas características e estas influenciam os cálculos das secções nas vigas e os respetivos espaçamentos.

Segundo estas publicações, os espaçamentos entre as vigas variavam entre 0,40 e 0,70m de eixo a eixo, sendo a primeira e a última viga dos pavimentos colocadas, na maioria das vezes, encostadas às fachadas. Havia ainda, alguns construtores, que chegavam a encostar praticamente as vigas umas às outras, que no final resultava num pavimento excessivamente pesado. Quando existiam tetos inferiores era comum os construtores adotarem, um espaçamento entre vigas de 0,30m, já que era uma medida conveniente para pregar o fasquiado (Segurado, 1942). Quando o vão dos pavimentos era mais elevado, era usual a colocação previa de uma ou mais vigas sob e perpendicularmente ao vigamento, ver figura 3.14.



Figura 3.14 – Colocação de vigas transversais para diminuição do vão (Dias, 2008)

Deve construir-se pavimentos com um espaçamento entre vigas o maior possível, sem que este facto traga problemas de utilização. Reduzir o número de vigas nos pavimentos é importante, para que o seu peso próprio seja menor e, deste modo, haver uma menor possibilidade de ocorrência de problemas estruturais. Contudo, esta redução de vigas deve ser controlada, para não haver deformações e problemas de utilização e desconforto na utilização destes pavimentos (Costa, 2009).

### 3.2.1.3 Secções das vigas

Nos edifícios mais antigos e anteriores ao início do século XX, o vigamento consistia, na sua generalidade, em troncos de madeira, também designados por “paus rolados”. Estes troncos eram normalmente falqueados numa face se fosse só para colocação de soalho, em duas faces quando se tratava da colocação do soalho e do teto e falqueados nas quatro faces quando se encontravam junto às fachadas dos edifícios (Teixeira, 2004), figura 3.15.



Figura 3.15 – Vigamento efetuado por troncos falqueados (Ilharco et al., 2006)

As dimensões destes elementos estruturais apresentavam entre os 0,10 e os 0,30m de diâmetro e entre os 4,0 e os 7,0m de comprimento. Normalmente estas vigas apresentavam uma variação de diâmetro entre as duas extremidades e devido a esta variância de secção e

para manter a rigidez do pavimento mais homogêneo, a sua aplicação era feita alternadamente, aplicando-se uma com menor secção junto a outra com maior secção.

A partir do início do século XX, começaram a aparecer as vigas de secção retangular, com uma largura entre 0,07m e 0,12m e alturas entre os 0,18 e 0,25m.

Nos dias de hoje, já é possível a obtenção da maior parte das medidas para as seções pretendidas, devido à existência dos derivados da madeira, matéria que vai ser abordada no subcapítulo 3.3.

### 3.2.2 TARUGOS

A utilização de um sistema de tarugamento consiste em aplicar um conjunto de elementos transversais ao vigamento, geralmente em madeira de menor secção que as vigas principais. O seu comprimento é igual ao espaçamento livre entre as vigas principais e apresentam uma distância média entre si de 1,5 a 2,0m.

Este tipo de sistema é usado essencialmente porque leva o vigamento a trabalhar em conjunto e assim é possível a obtenção de secções mais reduzidas. Para além disso, os tarugos são usados também, para minimizar os efeitos da deformação transversal e longitudinal das peças devido a excessos de carga ou variações do teor de água. Se os tarugos forem mais largos em cima e introduzidos à força fazem com que o vigamento suba um pouco, conseguindo-se diminuir as suas flexas. No entanto, este tipo de colocação de tarugos apresenta a desvantagem de poder danificar as paredes no caso de o vigamento não estar bem ligado a estas (Segurado, 1942).

De acordo com (Costa, 1955), para que um sistema de vigamento seja eficaz, é necessário que os tarugos formem uma linha continua transversalmente ao vigamento. Descreve também os três tipos de tarugamentos mais utilizados, o tarugamento simples, o tarugamento de cruzetas e o tarugamento entalonado.

**Tarugamento Simples** – Neste sistema os tarugos são peças em madeira com o comprimento igual ao espaçamento entre vigas. São colocados de baixo para cima para obrigar o vigamento a subir e assim favorecer posteriormente o seu nivelamento quando as cargas e o seu peso próprio estiverem a atuar. Convém que o comprimento dos tarugos nunca seja

inferior ao espaço entre as vigas e que as suas secções sejam idênticas para evitar a instabilidade. As ligações entre os dois componentes é realizada com pregos, aplicados em ambas as faces de contacto do tarugo com a viga. Apesar de a sua colocação ser feita sem folgas, os tarugos não devem ser demasiado grandes, uma vez que ao alargar com o teor de água originam esforços laterais significativos nas vigas, danificando-as. Com isto, o controlo de teor de água nos tarugos é fundamental, porque se as vigas forem instaladas com um teor de água muito elevado, vão encolher ao longo das direções radiais e tangenciais afastando-se dos tarugos (Trada, 2005).



Figura 3.16 – Tarugamento Simples (Costa, 1955)

**Tarugamento de cruzeta, ou à Americana** – Para este sistema são necessárias ripas de madeira de pequena seção mas com alguma rigidez e com um comprimento igual à diagonal entre o topo de uma viga e a base da viga adjacente. Previamente é necessário a abertura de reentrâncias nas extremidades das vigas para a entrada das ripas. A ripa (tarugo) é colocada em primeiro lugar na reentrância superior de uma das vigas, sendo posteriormente colocada na reentrância inferior da viga adjacente. Seguidamente ao lado da primeira ripa instala-se outra, mas em sentido contrário, formando-se assim a cruzeta que estabelece o equilíbrio da viga no seu conjunto. Para uma maior segurança utiliza-se um prego para uma melhor fixação das ripas às vigas (Costa, 1955).



Figura 3.17 – Tarugos de cruzetas executados com ripas de madeira (Costa, 1955)

**Tarugamento Entalonado** – Neste tipo de sistema a junção das peças é bastante complexa, sendo que, para a sua correta execução é necessário que os tarugos tenham as mesmas secções do vigamento. É muito usado na construção de cadeias porque tem um acabamento muito rígido e complexo. Para a sua execução, efetua-se a abertura de entalhes nas vigas de forma a criar uma base de entalhe dos tarugos e mede-se o comprimento dos mesmos a colocar. Para efetuar este entalhe, divide-se a altura da viga em três partes iguais, deixando-se a inferior no estado natural, na do meio abre-se uma caixa para o talão de 0,01m de profundidade e na superior abre-se um chanfro com 0,015m ou 0,02m na parte superior da viga ligada à caixa do talão. No topo dos tarugos são preparados as orelhas e os talões para entrarem nos entalhes das vigas. Os tarugos são colocado comprimidos para dar ao vigamento uma maior coesão e a sua fixação à viga é feita através de pregos, superiormente do tarugo para a viga. Neste tipo de tarugamento é comum um problema associado à possível redução de dimensões dos tarugos por secagem. Contudo, segundo Costa 1955, este processo de tarugamento é o melhor (Costa, 1955).

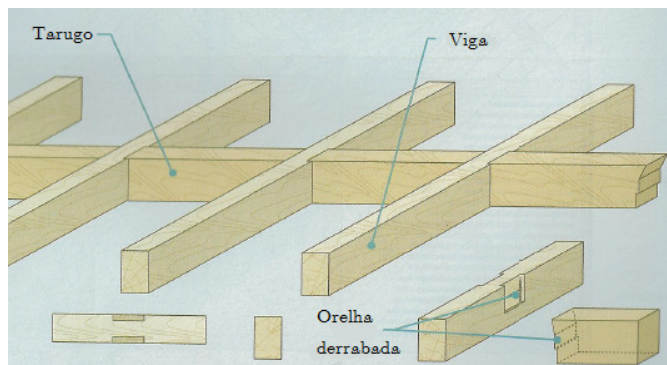


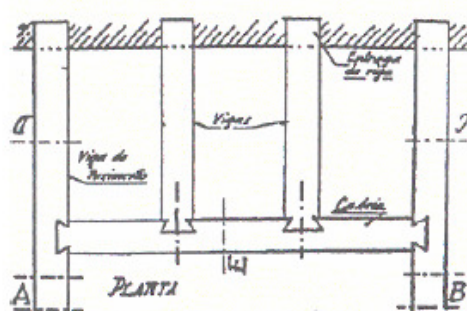
Figura 3.18 – Sistema de tarugamento entalonado (Appleton, 2003)

### 3.2.3 CADEIAS

As cadeias são utilizadas quando surgem alguns aspetos construtivos, nomeadamente uma chaminé ou uma caixa de escadas, que obrigam a alteração dos vigamentos dos pavimentos, de modo a contornar esses obstáculos. Como o vigamento é interrompido antes de chegar aos apoios nas paredes é então necessário adotar uma disposição através da qual se consiga transmitir as cargas das referidas vigas para outras que apoiem noutras zonas da parede.

Quando o vigamento era perpendicular à parede em que se encontrava o obstáculo, a cadeia era colocada entre as duas vigas que o limitem, sendo que as outras vigas que o intersetariam

terminam na cadeia. Contudo, se o vigamento fosse paralelo à parede onde se encontrava o obstáculo, era necessário instalar duas cadeias laterais curtas onde iam encaixar as vigas, sendo que em alguns casos estas vigas eram substituídas por uma serie de pequenas convenientemente distanciadas entre si (Segurado, 1942).



a) Cadeia em planta (Costa, 1955).

b) Cadeia no pavimento da casa do Infante, Porto (Dias, 2008)

Figura 3.19 – Exemplo de cadeias

Para que o travamento da cadeia fosse eficaz, deveria entrar sem folgas entre as vigas e a sua ligação deveria ser feita através de entalhes (Costa, 1955).

### 3.2.4 SOALHO

O soalho, solhos ou sobrado trata-se de um pavimento estrutural que pode ser de diferentes espécies de madeira que devem ter funções e ser preparadas para o fim a que se destinam (Lopes, 2005). São constituídos pela justaposição de tábuas, normalmente dignadas por tábuas de solho pregadas ao vigamento, geralmente com 0,022m, 0,024m ou 0,028m de espessura dependendo do tipo de madeira, da distância entre vigas e as cargas atuantes. As tábuas são aplainadas nas duas faces para poderem assentar perfeitamente sobre o vigamento e ganharem harmonia ao olho no que toca à vista.

Existem três tipos de soalho: soalho de junta, soalho de meio fio ou à portuguesa e soalho de macho e fêmea ou soalho à inglesa.



a) Soalho de junta



b) Soalho de meio fio ou à portuguesa



c) Soalho de macho e fêmea ou soalho à inglesa

Figura 3.20 – Tipos de soalho (Lopes, 2005).

O soalho de junta, utilizado em construções menos exigentes (sótãos, armazéns, celeiros), é o mais simples, porque é constituído por tábuas coladas a par e pregadas ao vigamento com pregos, sem qualquer encaixe, processo que não permite contrair a abertura das juntas ao longo do tempo.

No soalho à portuguesa, as lâminas apresentam um rebordo ao meio e graças ao modo como são aplicadas, o pavimento apresenta-se constituído por tábuas de larguras diferentes “de baixo” e “de cima”, que serão posteriormente ligados por pregos. Uma variante de soalho à portuguesa é o soalho de meio fio, muito semelhantes, com a diferença dos rebaixos serem alternados numa e noutra face da tábua.

O soalho de macho e fêmea ou soalho à inglesa é utilizado quando se pretende obter um aspeto cuidado e agradável para o pavimento, porque o prego fica escondido uma vez que é pregado no macho (Garcia, 2002).

### 3.3 ESCOLHA DOS MATERIAIS E SUAS CARACTERISTICAS

#### 3.3.1 MADEIRA MACIÇA

A madeira maciça corresponde à que é obtida diretamente a partir dos troncos das árvores sem se proceder a qualquer colagem. É classificada de acordo com a forma da secção transversal que apresenta, em madeira redonda ou madeira serrada.

A madeira redonda é produzida diretamente a partir dos troncos dos quais é retirada a casca e são posteriormente trabalhados de maneira a obter uma forma cilíndrica. É utilizada em diversos tipos de construções, sobretudo exteriores, tais como, postes, estacas, jardins infantis, pontes ou torres. Requer poucas operações mecânicas e as dimensões das peças variam geralmente entre os 15 e os 25 cm de diâmetro e comprimentos variáveis conforme

as aplicações. A sua forma circular é útil para solicitações axiais, contudo não é a melhor para esforços de flexão, sendo também as ligações difíceis de realizar.

A madeira serrada é a mais utilizada na construção e as suas formas mais correntes são a quadrada, para servir de postes, e a retangular, para servir de viga. O comprimento máximo destas peças ronda atualmente os 6 m podendo raramente atingir os 8 m. As suas principais desvantagens apresentam-se como a limitação da secção transversal e do comprimento e a grande variabilidade das suas propriedades. No entanto, pode servir como elemento de base para produtos compósitos, tais como por exemplo os lamelados colados (Cachim, 2007).

Segundo os dados do Inventário Florestal Nacional de 2013, observa-se que a floresta tem uma percentagem de ocupação do solo de 35,4% em Portugal Continental. É de notar que esta percentagem coloca Portugal na média dos 27 países da União Europeia.

Na figura seguinte, pode ser observado, as madeiras maciças existentes no nosso país. É de notar que o eucalipto representa a maior área (812 mil ha; 26%), em segundo o sobreiro (737 mil ha; 23%), seguido do pinheiro-bravo (714 mil ha; 23%). A área ocupada por espécies resinosas corresponde a 31% da floresta portuguesa, sendo a restante (69%) ocupada por espécies folhosas (ICNF, 2013).

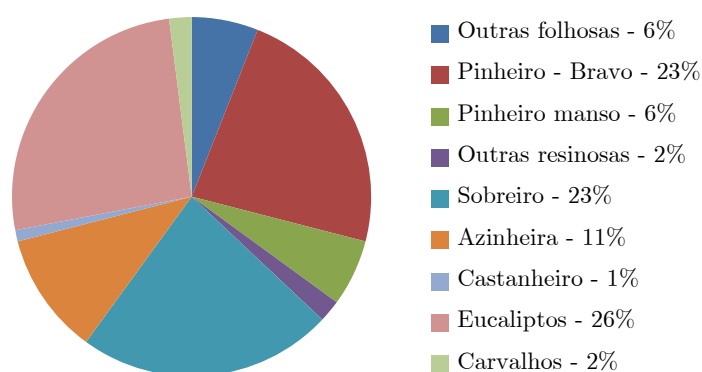


Figura 3.21 – Espécies florestais em Portugal Continental (ICNF, 2013)

Entre as espécies de madeira mais usadas em Portugal, para o uso estrutural nos elementos de um pavimento, destacam-se o Pinho Bravo (*Pinus pinaster*), o Pinheiro silvestre (*Pinus sylvestris*), o Carvalho Português (*Quercus faginea*), o Castanho (*Castanea Sativa*) e o Eucalipto (*eucalyptus globulus*).

O **Pinheiro Bravo** trata-se de uma espécie resinosa, de grande porte (30 a 40 m de altura), originária do sudoeste da Europa. Em Portugal era inicialmente uma espécie costeira, mas devido à ação do homem encontra-se, hoje em dia, por todo o país. Esta madeira como apresenta nós com abundância e é pouco flexível é usada para a produção de resina, lamelados colados, aglomerados e na construção de pavimentos de áreas de pequeno tráfego. O **Pinheiro Silvestre**, mais conhecido por casquinha, é também uma espécie resinosa de grande porte (até 40 m de altura). Encontra-se distribuída pela região norte da península Ibérica, norte e centro da Europa. Em Portugal está presente principalmente nas serras do norte e centro onde o seu desenvolvimento se dá melhor. Esta espécie é a melhor entre todos os pinheiros e distingue-se por ser uma madeira elástica e duradoura e posto isto é bastante utilizada na construção civil.

O **Carvalho Português**, de espécie folhosa, apresenta um tamanho médio (até 20m de altura) e encontra-se na Península Ibérica e no norte de África continental. Esta espécie de madeira é utilizada na construção civil, principalmente sob a forma de vigas.

O **Castanho** pertence ao grupo das folhosas e encontra-se principalmente no sul da Europa. Atinge os 30 m de altura e é leve, fácil de trabalhar e muito durável. É utilizado, sobretudo, na área do mobiliário e revestimentos devido ao seu excelente acabamento.

Por último, o **Eucalipto** trata-se também de uma espécie folhosa. É originária da Austrália, de rápido crescimento e chega a atingir os 60 metros de altura. Esta espécie é usada na execução de elementos estruturais, como por exemplo, vigas ou travessas de caminho-de-ferro e também na execução de pontes (Lopes, 2005) (Martins, 2010) (Naturlink, 2012).

### 3.3.2 DERIVADOS DA MADEIRA

A resistência da madeira é principalmente condicionada pela secção mais fraca com defeitos e não pela resistência das fibras da madeira limpa, que normalmente têm uma resistência duas a quatro vezes superior à da madeira classificada. Uma maneira de evitar estes defeitos e de melhorar as principais propriedades da madeira é cortar os troncos em secções finas e seguidamente proceder à colagem reconstituindo assim o produto com as características pretendidas (Cachim, 2007). Este tipo de produtos apresentam inúmeras vantagens em relação à madeira maciça, porque para além de se obterem propriedades mais homogêneas

é possível a obtenção de peças às dimensões definidas e padronizadas. Isto permite ao utilizador economia de mão-de-obra, maior rapidez na aplicação e a obtenção de secções maiores, o que com a madeira maciça não era possível (Lopes, 2005).

### 3.3.2.1 Secções estruturais de derivados de madeira

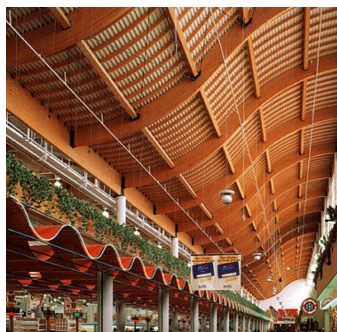
#### 3.3.2.1.1 Madeira Lamelada Colada

A madeira lamelada colada (MLC) é constituída por elementos de madeira classificada e seleccionada, justapostas e ligadas firmemente por cola apropriada (Lopes, 2005). Os elementos de base são de madeiras resinosas com espessura máxima de 50mm e cumprimentos variáveis entre os 1,5 e os 5 m.

De modo a formar lamelas contínuas, as pranchas são unidas pelos topos através de juntas denteadas e as lamelas podem ser agrupadas na horizontal (figura 3.22 - a) ou na vertical, sendo a primeira solução a mais corrente (Cachim, 2007).



a) Lamelas agrupadas na horizontal



b) Construção em Madeira lamelada colada

Figura 3.22 – Exemplos de MLC (Sousa, 2007)

Como se pode ver na figura 3.22 - b a madeira lamelada colada apresenta como vantagem as diversas formas que pode adquirir: curvas ou de secção variável. As dimensões das peças são também variáveis, conseguindo-se peças para vãos na ordem dos 40 m e alturas de secção da ordem dos 2 m (Lopes, 2005).

#### 3.3.2.1.2 Contraplacados

Define-se contraplacado como uma placa de madeira que resulta da colagem de várias folhas de madeira (figura 3.23), sobrepostas e dispostas com o fio cruzado folha a folha, geralmente de forma perpendicular. São produtos fabricados a partir de folhas desenroladas de madeira

com espessuras de 2 a 4 mm, coladas entre si, em camadas sucessivas, até atingir a espessura pretendida (Lopes, 2005).



Figura 3.23 – Contraplacado (Somapil, 2013)

Os contraplacados têm geralmente entre 3 e 11 camadas (Sousa, 2007), sempre em número ímpar, para que as lâminas superiores e inferiores tenham as fibras na mesma direção.

As principais características que distinguem os contraplacados dos restantes derivados da madeira são as colas à base de ureia, o revestimento da superfície com filme fenólico e acabamento liso e a proteção dos topos com produtos hidrófugos que impedem a penetração da água no interior. Apresentam como principais vantagens: maior resistência à água e à humidade em geral, boa resistência ao choque, ao envelhecimento, à agressão por produtos ácidos, fungos e microorganismos, grande estabilidade dimensional e um bom revestimento superficial (Lopes, 2005).

#### 3.3.2.1.3 Laminated veneer lumber (LVL)

O laminated veneer lumber (LVL) é um produto de composição semelhante ao contraplacado (figura 3.24), constituído por folhas de madeira obtidas por desenrolamento dos troncos e coladas umas às outras. Ao contrário do contraplacado, onde a colagem das folhas é feita perpendicularmente, no LVL a maioria das folhas de madeira são coladas com o fio paralelo devido ao facto de este ser destinado ao fabrico de vigas. Estas vigas podem atingir dimensões elevadas com alturas de aproximadamente de 2 m e comprimentos até 20 m (Sousa, 2007).



Figura 3.24 – Laminated veneer lumber (Sousa, 2007)

#### 3.3.2.1.4 Parallel strand lumber (PSL)

O PSL é fabricado a partir dos mesmos elementos do LVL, utilizando-se no entanto as folhas exteriores do tronco que devido às suas dimensões irregulares não podem ser utilizadas no LVL. Este produto apresenta uma capacidade resistente cerca de duas vezes superior à da madeira para construção corrente e em termo de durabilidade pode ser comparável à madeira natural, contudo, os vazios existentes na secção transversal permitem uma elevada penetração dos produtos preservadores, permitindo um ligeiro aumento da durabilidade.



Figura 3.25 – Parallel strand lumber (PSL) (Sousa, 2007)

O PSL pode ser utilizado em vigas, pilares, elementos de contraventamento ou ainda como elementos de vigas treliçadas (Cachim, 2007).

#### 3.3.2.1.5 Laminated strand lumber (LSL)

Este produto foi desenvolvido recentemente (década de 90) com a finalidade de substituir peças de madeira maciça de grandes dimensões por peças produzidas a partir de espécies florestais pouco utilizadas. O laminated strand lumber (LSL) é obtido através da utilização

de lamelas provenientes de madeiras folhosas de rápido crescimento, como por exemplo o choupo, ligando-as com um adesivo sob pressão e calor (Cachim, 2007).



Figura 3.26 – Laminated strand lumber (LSL) (Sousa, 2007)

#### 3.3.2.1.6 Vigas I (I-Joists)

Tal como se verifica na figura seguinte, as vigas I, são essencialmente peças com a forma da secção transversal em I e estão destinadas a resistir essencialmente a esforços de flexão. Normalmente o banzo é constituído por madeira maciça, LVL ou LSL, enquanto que para realização das almas utiliza-se o contraplacado ou o oriented strand board, OSB (ver ponto 3.3.2.2.2.) Estes elementos, comparados com a madeira maciça, apresentam inúmeras vantagens porque passam por um processo de classificação o que resulta num material de alta qualidade no que toca à humidade, isenção de defeitos e a possibilidade de dispor lâminas de melhor qualidade nos pontos de maior solicitação das peças (Lopes, 2005). Os seus pontos críticos são a ligação da alma aos banzos e a ligação entre os painéis que constituem a alma (Sousa, 2007).



Figura 3.27 – Vigas pré-fabricadas (Sousa, 2007)

### 3.3.2.2 Placas de aglomerados de madeira

#### 3.3.2.2.1 Aglomerados de partículas de madeira

Uma placa de partículas de madeira (“Particleboard”) é definida como um painel fabricado sob pressão e calor a partir de partículas de madeira (lascas, aparas, rebarbas) com a adição de um adesivo. Podem ainda ser adicionados aditivos de forma a melhorar o desempenho da placa (Sousa, 2007). Existe uma variação no tamanho das partículas ao longo da espessura do painel, sendo que as maiores ficam no interior para um aumento da sua resistência mecânica e as partículas menores são distribuídas pelas faces para um melhor acabamento superficial e a posterior fixação a outros revestimentos.



Figura 3.28 – Aglomerado de partículas de madeira (Covema, 2013)

As placas de aglomerados de partículas de madeira, devido a terem boas propriedades físicas e mecânicas, podem ser utilizadas em diversas áreas, são fáceis de trabalhar e apresentam uma grande versatilidade de acabamentos (Lopes, 2005).

#### 3.3.2.2.2 Aglomerados de partículas de madeira longas e orientadas (OSB)

Os aglomerados de partículas de madeira longas e orientadas (“Oriented strand board”) são constituídos por lascas de madeira de dimensões geralmente retangulares que variam entre os 50 e 70 mm de comprimento por 20 mm de largura e 0,5 mm de espessura. Estas placas são geralmente constituídas por três camadas. Nas duas camadas exteriores as lascas encontram-se alinhadas paralelamente ao comprimento da placa e encontram-se dispostas aleatoriamente na camada intermédia. O seu processo de fabrico é muito semelhante ao das placas de aglomerados de partículas com a exceção das dimensões das partículas (Sousa, 2007).



Figura 3.29 – Aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas (Covema, 2013)

As placas de OSB têm como principais campos de aplicação a indústria do imobiliários e a construção civil, principalmente na construção de coberturas e pavimentos devido à sua elevada resistência à flexão (Lopes, 2005).

#### 3.3.2.2.3 Aglomerados de partículas de madeira ligados com cimento

A principal diferença entre este tipo de placas em relação às placas de aglomerados de partículas tradicionais reside na substituição do ligante orgânico por um ligante inorgânico (cimento Portland ou ligante à base de magnésio). A sua definição e classificar vai depender do tipo de ligante utilizado, da cor, do acabamento da superfície que pode ser bruta, lixada ou revestida e ainda da laboração dos bordos.



Figura 3.30 – Aglomerados de partículas de madeira ligados com cimento (Viroc, 2013)

As placas de aglomerados de partículas de madeira ligados com cimento são compostas por 75 a 80% de ligante e 25 a 20% de fibras de madeira (Sousa, 2007). Combina a flexibilidade da madeira com a resistência e durabilidade do cimento, permitindo uma vasta gama de aplicações tanto no interior como no exterior (pavimentos, tetos, paredes, fachada, entre outros). É possível encontrar no mercado várias espessuras e dimensões para as placas (Viroc, 2013).

### 3.3.2.2.4 Aglomerados de fibras de madeira (MDF, HDF, LDF)

Um aglomerado de fibras de madeira é, por definição, uma placa com uma espessura superior a 1,5 mm em que a sua produção consiste na aplicação de cola, calor e/ou pressão em fibras lenho-celulósicas constituintes da madeira. Existem diferentes tipos de painéis e diferenciam-se segundo o seu processo de fabrico (húmido ou seco) e de acordo com a sua massa específica. No quadro 3.1 pode-se observar os diferentes tipos de aglomerados de fibras que existem.

Quadro 3.1 – Tipos de placas de aglomerado de fibras de madeira (Sousa, 2007)

Processo de fabrico	Massa volúmica, $\rho$ ( $kg/m^3$ )			
Húmido	230 < $\rho$ < 400 Aglomerados de fibras brandas (Softboard) SB	400 < $\rho$ < 900 Aglomerado de fibras semi-duro (Mediumboard)		$\rho$ > 900 Aglomerado de fibras duro (Hardboard) HB
		400 < $\rho$ < 560 Baixa densidade MBL	560 < $\rho$ < 900 Alta densidade MBH	
	Seco	$\rho$ > 450 Aglomerados de média densidade (Medium Density Fiber board) MDF		
450 < $\rho$ < 550 MDF ultra-light		550 < $\rho$ < 650 MDF light	650 < $\rho$ < 800	$\rho$ > 800 HDF

No processo húmido, o teor de água é superior a 20% na altura de formação do colchão, não sendo necessário a adição de cola para assegurar a coesão interna devido a esta já ser assegurada pelo entrelaçar das fibras e de uma cola sintética. No processo seco, como o teor de água na altura da formação do colchão é inferior a 20% é necessário a adição de uma cola sintética para assegurar a coesão interna das fibras.

A especificação de uma placa deverá ter em consideração a utilização destinada e o ambiente ao qual vai estar submetida. Isto demonstra as variadas aplicações que os painéis de aglomerados de fibras podem ter, desde a construção de móveis, acabamentos interiores, revestimentos, aplicações de carpintaria e construção civil (Sousa, 2007). Na figura seguinte pode-se observar placas de fibras de média densidade.



Figura 3.31 – Aglomerado de fibras de média densidade (MDF) (Covema, 2013)

### 3.3.3 ISOLAMENTOS

Os isolamentos, sendo constituintes essenciais nos pavimentos, são também, aqueles que vão garantir o conforto térmico, o conforto acústico e a resistência ao fogo fazendo com que o pavimento de madeira cumpra com todas as suas exigências funcionais relativas à segurança, à habitabilidade, conforto e durabilidade. Para uma correta utilização dos mesmos é necessário ter em conta a zona onde vão ser aplicados em relação ao pavimento, (figura seguinte).



Figura 3.32 – Zonas de aplicação dos isolamentos em pavimentos

Para isolamentos aplicados na zona superior do pavimento é necessário ter em conta a capacidade de resistência de cargas que o isolante possui para a obtenção de uma resistência térmica, acústica e retardante ao fogo homogénea ao longo da sua vida útil. Para a colocação de um isolante na zona intermédia do pavimento, a rigidez dos materiais a utilizar não é um pormenor fundamental, tal como a resistência ao fogo e humidades, uma vez que este material estará protegido pelo pavimento e revestimentos inferiores e superiores.

Os isolamentos aplicados na parte inferior do pavimento (podendo existir, ou não, um espaço de ar) têm de apresentar uma rigidez apropriada para este tipo de aplicação, não sendo tão

exigente como no primeiro caso. As suas principais características a possuir devem ser de comportamento ao fogo (Teixeira, 2008).

Neste subcapítulo são apresentados os principais isolantes térmicos, isolantes acústicos e retardadores de chama mais indicados para a construção de um pavimento de madeira.

### 3.3.3.1 Isolantes térmicos

#### 3.3.3.1.1 Lã de Vidro

A lã de vidro é uma fibra mineral inorgânica composta por um entrelaçado de filamentos de vidro aglutinados com uma resina sintética. A sua constituição permite a este material obter uma elevada resistência ao fogo mas também evitar a sua propagação, suportando temperaturas até 450°C. Para obter um bom desempenho é necessário que possua espessuras superiores em comparação com outros isolantes térmicos e não pode ser usado na zona superior do pavimento devido à sua baixa resistência à compressão, sendo colocados na zona intermédia ou na zona inferior sobre os tetos falsos, como se pode observar na figura seguinte.

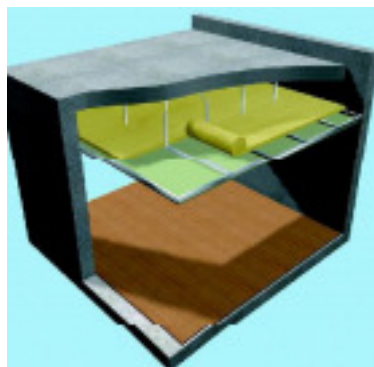


Figura 3.33 – Aplicação de lã de vidro em teto falso, zona inferior do pavimento (Fibrosom, 2013)

Apesar destes inconvenientes é um material com baixo peso o que o torna um produto de fácil manuseamento e aplicação, apresenta elevada elasticidade porque adquire rapidamente a sua forma original e mantém as suas características ao longo do tempo. Aquando da aplicação é obrigatório o uso de equipamentos de proteção adequado uma vez que a fibra de vidro é nociva para a pele e para os olhos. Apresenta valores para a condutibilidade térmica entre 0,040 e 0,045 W/(m.°C) (LNEC, 2006).

A lã de vidro, atualmente, está a cair em desuso devido à sua constituição apresentar componentes nocivos para a saúde. Os perigos associados a este material, para além de

provocar a irritação da pele e dos olhos como já foi referido, provoca problemas a nível do sistema respiratório. É um material muito tóxico, principalmente quando se encontra sob a ação do fogo. Com isto, a lã de vidro está a ganhar a reputação de ser mais prejudicial do que útil e em alguns países já é proibido a sua aplicação (Centro de artigos, 2012).

#### 3.3.3.1.2 Lã de Rocha

A lã de rocha é também uma fibra mineral, com características muito semelhantes à lã de vidro. É composta por fibras siliciosas obtidas por centrifugação a altas temperaturas. Não liberta gases tóxicos, não provoca alergias, não retém a água e permite a passagem do ar. Tal como a lã de vidro, pode ser aplicado na zona intermédia ou inferior do pavimento. É possível encontrar no mercado este material projetado (figura 3.34) o que oferece um melhor acabamento quando aplicado entre espaços existentes (entre duas vigas) em pavimentos de madeira (Teixeira, 2008) (Reis & Moreira, 2008). Apresenta valores para a condutibilidade térmica entre os 0,042 e 0,045 W/(m.°C), o que a torna um bom isolante térmico (LNEC, 2006).



Figura 3.34 – Lã de Rocha projetada (Polirigido, 2013)

#### 3.3.3.1.3 Poliestireno expandido moldado (EPS)

O poliestireno expandido moldado, também designado por EPS, é uma espuma de poliestireno moldada constituída por um aglomerado de grânulos provenientes da petroquímica. As suas propriedades mantêm-se inalteradas ao longo da sua vida útil e não é afetado por bolores ou outras eflorescências (Reis & Moreira, 2008). A condutibilidade térmica deste material vai variar entre 0.037 e 0,055 W/(m.°C) (LNEC, 2006), valor este que vai depender da sua densidade. O EPS é um material altamente inflamável e com baixa eficiência relativamente à acústica. É de fácil moldagem e apesar de ser muito leve apresenta uma resistência mecânica elevada. É também resistente à água e pode apresentar-se numa

multiplicidade de tamanhos e formas (figura 3.35). Este isolante é usado essencialmente na zona superior ou inferior do pavimento (Teixeira, 2008).



Figura 3.35 – Placas de Poliestireno expandido moldado (EPS) (Fibrosom, 2013)

#### 3.3.3.1.4 Poliestireno expandido extrudido (XPS)

O poliestireno expandido extrudido (figura 3.36) é fabricado a partir das mesmas matérias-primas que o isolante apresentado anteriormente, sendo a aglomeração dos grânulos realizada por um processo de extrusão. Também designado por XPS, este material apresenta uma elevada resistência mecânica, excelente resistência à água e tempo de vida útil muito elevado sem alteração das suas características (Teixeira, 2008). A sua condutibilidade térmica é baixa, de aproximadamente de  $0,037 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$  (LNEC, 2006) o que o torna um bom isolante térmico. Geralmente é aplicado na zona superior ou inferior do pavimento. Ao nível da resistência ao fogo, as placas de XPS são combustíveis e ardem rapidamente, mas para que isto aconteça têm de estar sujeitas a fogo intenso, porque se estiverem apenas sujeitas a uma ignição acidental, não ardem, uma vez que na sua composição têm um aditivo retardante (Teixeira, 2008).

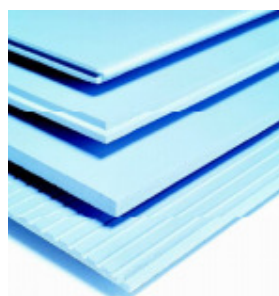


Figura 3.36 – Placas de Poliestireno Extrudido (XPS) (Fibrosom, 2013)

#### 3.3.3.1.5 Poliuretano (PUR)

Este material, constituído por um polímero termoendurecido com estrutura celular fechada, pode ser aplicado como espuma rígida produzida por evaporação (projetada in-situ) ou como um produto prefabricado que foi moldado com diversas formas, por exemplo, em placa. Este

material é impermeável à água, tem baixo peso, uma longa duração sem perder as suas características e não é degradável. Quando projetado in-situ, estes isolantes permitem que se desenvolva um isolamento contínuo contribuindo para a eliminação de pontes térmicas (Teixeira, 2008). Apresenta valores para a condutibilidade térmica entre os 0,037 e os 0,040 W/(m.°C) (LNEC, 2006) e a sua boa resistência à compressão e à sua versatilidade permitem que estes materiais sejam aplicados em todas as zonas do pavimento (superior, inferior e preenchimento de espaços de ar entre as vigas). É muito inflamável e em caso de incêndio liberta gases muito tóxicos (Teixeira, 2008).

#### 3.3.3.1.6 Cortiça

A cortiça é um produto de origem natural proveniente da casca do sobreiro. Pode ser apresentado sob duas formas principais, em aglomerado ou regranulado, como pode ser observado na figura seguinte.



a) Aglomerado de cortiça



b) Regranulado de cortiça

Figura 3.37 – Aglomerado e regranulado de cortiça (Fibrosom, 2013)

O aglomerado de cortiça é obtido a partir da aglutinação natural dos grânulos com a sua própria resina. Apresenta uma durabilidade ilimitada mantendo as suas características ao longo tempo, boa resistência mecânica e impermeabilidade à água (Teixeira, 2008). O seu valor de condutibilidade térmica é de aproximadamente de 0,045 W/ (m.°C) (LNEC, 2006) e tem boa resistência ao fogo. Para além de ser um bom isolamento térmico é um bom isolamento acústico e antivibrático. Pode ser aplicado na zona superior ou inferior do pavimento. O regranulado é colocado na zona intermédia dos pavimentos para preencher os espaços vazios existentes entre as vigas (Teixeira, 2008).

#### 3.3.3.1.7 Fibra de coco

A fibra de coco (figura 3.38) é um isolante 100% natural e de origem biológica com uma condutibilidade térmica de aproximadamente de  $0,044 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$  (LNEC, 2006). Devido aos seus componentes orgânicos apresenta elevados índices de rigidez, dureza e mantém as suas características por um longo período de tempo. Pode ser utilizado tanto na parte superior como inferior do pavimento, ou ainda na intermédia se for em granel. Para além de ser um bom isolante térmico apresenta excelentes características acústicas.



Figura 3.38 – Fibra de coco (Natural fibras, 2013)

### 3.3.3.2 Isolantes acústicos

#### 3.3.3.2.1 Lã de rocha

A lã de rocha, além de apresentar eficiência no isolamento térmico, também apresenta a nível acústico. Devido à sua constituição porosa tem elevada capacidade para absorver o som, e quando se encontra com outros materiais, num sistema multicamada, tem também um ótimo comportamento ao isolamento acústico (Fibrosom, 2013).

Após a consulta de várias fichas técnicas do material referido, foi possível concluir que este apresenta um nível de absorção sonora na ordem dos 90%. A nível de isolamento acústico pode atingir um índice de redução sonora de aproximadamente de 30 dB. Estes valores dependem da espessura do material, da zona de aplicação e do fabricante (Mundiperfil, 2013).

#### 3.3.3.2.2 Cortiça

A cortiça como já foi referido anteriormente apresenta ótimos resultados a nível acústico. É indicada para o tratamento acústico de um determinado ambiente porque reduz o nível sonoro por efeito de absorção e, caso se pretenda, reduz também o tempo de reverberação.

O seu coeficiente de absorção sonora varia entre 0,33 e 0,8 dependendo do tipo de cortiça e das suas características (TCC, 2013).

### 3.3.3.2.3 Mantas de Espuma

Existe no mercado uma vasta gama de mantas de espuma com elevada eficiência a nível acústico. Cumprem com o isolamento a nível dos sons aéreos e/ou a nível dos sons de percussão. Estes materiais apresentam constituições muito parecidas e na generalidade apresentam elevada resistência ao fogo. Seguidamente são descritos dois tipos de mantas de espuma usados na construção de pavimentos: placas de aglomerado de espuma de poliuretano e placas de espuma de polietileno.

As placas de aglomerado de espuma de poliuretano (figura 3.39) são resultantes da concentração de espuma flexível de poliuretano de diferentes densidades que vão formar uma camada homogênea e estável. Devido à sua estrutura celular porosa e de peculiares características físicas e mecânicas permite resolver alguns problemas acústicos em edifícios. São flexíveis, duráveis e de fácil aplicação.



Figura 3.39 – Placas de espuma de poliuretano (Silencio, 2013)

É nos pavimentos que este produto demonstra a sua alta eficiência, principalmente em sistemas colados com gesso cartonado (zona inferior do pavimento) reduzindo em, aproximadamente, 20 dB os sons aéreos (Silencio, 2013).

Para além das placas de aglomerado de espuma de poliuretano existe também no mercado as placas de espuma de polietileno. Trata-se de um material resiliente e quando aplicado na zona superior dos pavimentos (figura 3.40), reduz de forma eficaz os ruídos de percussão.

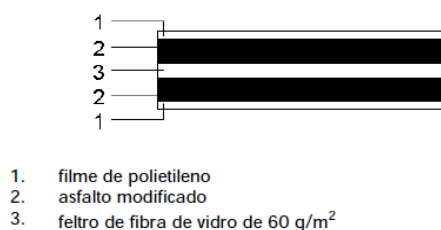


Figura 3.40 – Aplicação da manta de espuma de polietileno (Fibrosom, 2013)

É um material leve e flexível e por isso de fácil aplicação. Tem grande durabilidade, não absorve água e é resistente a agentes químicos e orgânicos (Fibrosom, 2013).

#### 3.3.3.2.4 Membranas acústicas

Um material com ótimos resultados a nível acústico possível de encontrar, com alguma facilidade no mercado, é a membrana acústica. É um material betuminoso constituído por um asfalto modificado, feltro de fibra de vidro e revestida por um filme de polietileno de alta densidade, tal como pode ser verificado na figura seguinte.



1. filme de polietileno
2. asfalto modificado
3. feltro de fibra de vidro de 60 g/m<sup>2</sup>



a) Esquema da membrana acústica

b) Membrana acústica (exemplo)

Figura 3.41 – Membrana acústica (Danosa, 2013)

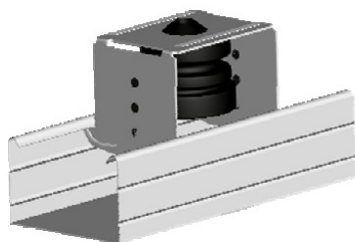
Costuma ser aplicado entre elementos rígidos, como placas de gesso cartonado, e também entre elementos de mola, como a lã de rocha sendo que nesta ultima apresenta melhorias significativas devido ao efeito membrana dos sistemas “massa-mola-massa”.

É de fácil utilização e em condições normais não é um produto perigoso, contudo quando aplicado a fogo existe o risco de queimaduras. A reação ao fogo diminui com o aumento da sua espessura (Danosa, 2013).

### 3.3.3.2.5 Sistemas anti vibração

A acústica é cada vez mais imprescindível devido ao conforto que proporciona. Com a sua intensificação surgem cada vez mais produtos no mercado para cumprir com as suas exigências. Como exemplo são apresentados os sistemas anti vibração que têm como principal objetivo a redução dos sons de impacto nos pavimentos.

Na figura seguinte, são apresentados dois tipos, os que são aplicados em tetos falsos de pladur ou MDF (figura 3.42 - a) e os que são aplicados no soalho (figura 3.42 - b). Estes últimos podem reduzir os sons de percussão em pavimentos de madeira até 53 dB (FBCE, 2013).



a) Anti vibrático com sistema de fixação no perfil metálico do teto falso.

b) Anti vibrático aplicado em piso de madeira

Figura 3.42 – Sistemas Anti vibráticos (FBCE, 2013)

### 3.3.3.3 Proteção contra incêndio

Com o objetivo de cumprir com todas as especificações da segurança contra incêndios são apresentados dois processos destinados a atrasar a ignição ou a reduzir o gradiente de desenvolvimento da combustão em estruturas de madeira.

#### 3.3.3.3.1 Sistemas de proteção com retardante de fogo

Um retardante de fogo é uma substância adicionada ou um tratamento aplicado a um material com o objetivo de atrasar a ignição e/ou reduzir o grau de desenvolvimento da combustão.

Atualmente existem três sistemas de proteção contra incêndio com retardante de fogo: por impregnação do retardante; através de projeções com protetores intumescentes e através da aplicação de produtos ignífugos como pinturas e vernizes. A escolha de qual o tipo de processo a adaptar vai depender das características da madeira, da função a que se destina o

elemento e do tipo de proteção que se pretende efetuar. Seguidamente são descritos os três processos existentes com retardante de fogo e, apesar de serem apresentados em separado, podem ser aplicados faseadamente no mesmo elemento de madeira.

## IMPREGNAÇÃO

O processo de proteção por impregnação com retardantes do fogo só pode ser usado antes do fabrico, da montagem das estruturas e/ou revestimentos. Na generalidade, consiste em impregnar as madeiras com uma solução própria com características retardantes ao fogo. A certificação final, quanto à reação ao fogo, vai depender do retardante ao fogo utilizado, do processo e condições de impregnação e também da dureza e do grau de humidade da madeira. Este tratamento de proteção usa processos e equipamentos normalmente utilizados na preservação da madeira, como por exemplo, o método autoclave (figura 3.43).



Figura 3.43 – Exemplo de uma Autoclave [O 20]

Este tipo de impregnação, em autoclave, provoca vácuo e pressão. Sob vácuo é retirado da madeira o ar e alguma humidade ainda existente nas células. Após algum tempo e ainda com pressão negativa é injetada a solução de retardantes de fogo que vai preencher todas as células da madeira. Com a madeira totalmente imersa nesta solução é introduzido pressão positiva até ao preenchimento total e profundo das células.

Quando é usado o método de autoclave, por ação dos retardantes do fogo, os gases voláteis resultantes do aquecimento da madeira transformam-se em gases não inflamáveis, tais como vapor de água e dióxido de carbono. Estes evitam que seja atingida a temperatura de ignição da madeira. Este método vai também provocar a libertação de radicais livres que inibem a combustão e baixam a temperatura no local (Anastácio, 2010) (Tria, 2012).

## PROTETORES INTUMESCENTES

Um produto intumescente é um material de proteção passiva contra o fogo que reage com o calor, inchando e criando uma barreira de espuma isolante, com espessura de até 40 vezes a sua espessura original aplicada. Estes produtos são aplicados já na fase de acabamento da construção e podem ser dados à trincha, rolo, pistola airless ou sistema convencional.

Em condições de fogo muito intenso, o revestimento intumescente, ajuda a conservar a capacidade de suporte de cargas de elementos estruturais e a sua capacidade de isolamento e estanquidade. O tempo de resistência da estrutura está diretamente relacionada com a capacidade de proteção ao fogo do revestimento aplicado e, por sua vez, com a espessura do produto aplicado.

Normalmente são usados em meios interiores devido à sensibilidade que apresentam à água. Esta extrai parte dos seus componentes ativos e faz com que o produto perca a sua eficácia. Quando é necessário aplica-los em ambiente exterior devem ser formulados especialmente para este fim com a aplicação de uma capa exterior final de acabamento própria (Anastácio, 2010) (Tria, 2012).

No mercado é possível encontrar uma variedade de produtos intumescentes. A marca CIN apresenta o verniz intumescente C-THERM LAC com classificação de reação ao fogo de C-s3,d0 (ver subcapítulo 4.4.1.4.), de fácil aplicação e uso exclusivo em interiores. Contudo, não é apropriado para suportes de madeira expostos a ações mecânicas, tais como, portas, janelas, mobiliário e soalhos (Cin, 2013). A marca Robbialac apresenta um sistema de proteção anti-fogo para madeira (Sistema B.I.P.), que ao contrário do anterior, já é possível utilizar em ambientes exteriores. É também de fácil aplicação e não apropriado para suportes de madeira expostos a ações mecânicas. O sistema B.I.P. é composto por três produtos diferentes: tapa poros, verniz intumescente e um verniz de acabamento com classe de reação ao fogo equivalente a A2 (Robbialac, 2013).

## PROTETORES IGNÍFUGOS

Este processo é aplicado normalmente na fase de acabamento da construção, sobre a superfície de peças de madeira, por pincel ou por pulverização e devem ter a espessura de

película necessária para que sejam eficazes, face à proteção ao fogo desejada. Estes protetores apresentam-se em forma de tinta ou verniz e com um tempo de vida curto devido ao desgaste natural que ao longo do tempo vai degradando a película protetora. Podem ser aplicados em madeira no exterior porém a durabilidade do tratamento vai ser baixa requerendo várias aplicações ao longo da vida útil da madeira (Anastácio, 2010).

Existe uma gama muito variada de produtos ignífugos no mercado. A CIN apresenta o C-THERM ENAMEL, esmalte de acabamento ignífugo com classificação de reação ao fogo de B-s1,d0 (ver subcapítulo 4.4.1.4.). Existe em várias cores, é de fácil aplicação e apresenta boa resistência às condições atmosféricas, podendo ser utilizado no exterior (Cin, 2013).

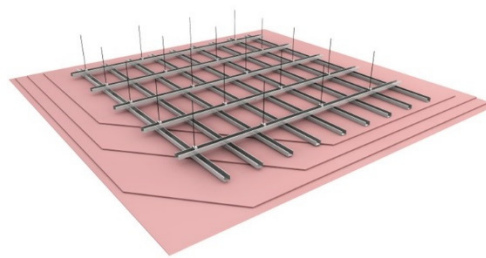
### 3.3.3.3.2 Sistemas de proteção mecânica

O sistema de proteção mecânica consiste em aplicar proteção às estruturas de madeira por meio de revestimentos. Este revestimento pode ser efetuado a partir da colocação painéis isolantes ao fogo ou por aplicação de argamassas fibrosas diretamente nas estruturas (Tria, 2012).

Na figura seguinte, é possível observar um sistema de proteção mecânico com colocação de painéis isolantes ao fogo.



a) Placas de gesso cartonado



b) Estrutura de teto falso

Figura 3.44 – Sistema de proteção mecânico (Gyptec, 2013)

Este sistema de proteção mecânica consiste na colocação de um teto falso com placas de gesso anti-fogo da Gyptec. Estas placas são formada por duas lâminas de papel com gesso de alta qualidade no interior e reforçada com fibra de vidro para melhorar a reação ao fogo

da alma de gesso. Apresentam uma reação ao fogo de A2-s1,d0 (ver subcapítulo 4.4.1.4.) (Gypotec, 2013).

Outra proteção mecânica encontrada no mercado foi a projeção de argamassas fibrosas da Tria (figura 3.45). Esta argamassa é leve, não atacável por roedores ou insetos, é de fácil aplicação e permite uma variedade de acabamentos. Apresenta uma resistência ao fogo EI até 180 minutos (ver subcapítulo 4.4.1.5.) (Tria, 2012).



Figura 3.45 – Argamassas fibrosas projetada (Tria, 2012)



## 4 EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS EM PAVIMENTOS DE MADEIRA

Este capítulo, tal como o próprio título indica, estabelece os requisitos necessários e obrigatórios para um melhor funcionamento dos pavimentos estruturais de madeira, ou seja, torná-los operacionais com vista ao cumprimento de toda a legislação aplicável.

No quadro seguinte, são apresentados os principais regulamentos e normas necessários para que todas as exigências funcionais sejam cumpridas em pavimentos de madeira.

Quadro 4.1 – Regulamentos aplicáveis às exigências funcionais dos pavimentos de madeira

<b>Exigências</b>	<b>Regulamentos Aplicáveis</b>	
<b>Estruturais</b>	Eurocódigo 0: Bases para o projeto de estruturas	NP EN 1990: 2009
	Eurocódigo 1: Ações em estruturas Parte 1-1: Ações gerais (Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios)	NP EN 1991-1-1: 2009
	Eurocódigo 5: Projetos de estruturas de madeira Parte 1-1: Regras gerais (Regras comuns e regras para edifícios)	NP EN 1995-1-1: 2008
<b>Térmicas</b>	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - RCCTE	Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril
<b>Acústicas</b>	Regulamento Geral do Ruído - RGR	Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro
	Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios – RRAE	Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho
<b>Contra incêndio</b>	Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios – RJ-SCIE	Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro
	Regulamento Técnico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios – RT-SCIE	Portaria n.º 1532/2008 de 29 de Dezembro
	Eurocode 5: Design of timber structures Part 1-2: General structural fire design	EN 1995-1-2: 2004

No presente capítulo vai ser efetuada uma análise de cada um destes regulamentos com referência somente ao necessário para a verificação das exigências funcionais dos pavimentos de madeira.

## 4.1 EXIGÊNCIAS ESTRUTURAIS

### 4.1.1 ESTABILIDADE NAS ESTRUTURAS DE MADEIRA

#### 4.1.1.1 Ações e combinação de ações

A quantificação de ações, combinação de ações e todos os elementos necessários à quantificação dos esforços atuantes é, em tudo, análogo a qualquer outro projeto de estruturas.

A segurança de estruturas de madeira é verificada através do Eurocódigo 5: Projetos de estruturas de madeira (Parte 1-1: Regras gerais). Este remete ao uso do Eurocódigo 1: Ações em estruturas (EC1:Parte1-1, 2009), para a definição e quantificação das ações necessárias. As ações a considerar, devem ser, as ações diretas como as cargas permanentes, sobrecargas, e sismos e as ações indiretas que são as induzidas por assentamentos de apoio e por variação do teor de água das peças. As ações para a verificação do desempenho da estrutura devem ser quantificadas para toda a sua vida útil e deve ainda ser previsto o seu comportamento estático ou dinâmico.

Para o cálculo de estruturas de madeira o EC5:1-1 [45] recorre à verificação dos estados limites últimos de segurança e utilização sem grandes especificações relativamente às características da madeira. Contudo, há a exceção dos efeitos de duração das ações e do teor de água, que devem ser cuidadosamente ponderados, pois influenciam as propriedades dos materiais e o comportamento global da estrutura. A quantificação desta influência é traduzida no EC5:1-1 (EC5:Parte1-1, 2004) por dois parâmetros,  $K_{mod}$  e  $k_{def}$ , (capítulo 4.1.2.4.4).

#### 4.1.1.2 Classes de serviço e duração das ações

As estruturas de madeira devem ser calculadas de acordo com o ambiente em que se inserem, pois este fator pode vir a influenciar as dimensões da peça, nomeadamente devido ao equilíbrio higrométrico e ao teor de água do meio em que se encontram, como já foi referido no capítulo 2.

No EC5:1-1 (EC5:Parte1-1, 2004) é contabilizado este aspeto, através do estabelecimento de classes de serviço. No quadro seguinte são esquematizadas as classes de serviço que dependem essencialmente da temperatura (T) e da humidade relativa do ar ambiente (HR).

Quadro 4.2 – Classes de serviço (EC5:Parte1-1, 2004)

Classe de serviço	Condições ambientais	Exemplo
<b>1</b>	T=20°C HR>65% em poucas semanas por ano	Estruturas interiores em geral
<b>2</b>	T=20°C HR>85% em poucas semanas por ano	Estruturas exteriores cobertas
<b>3</b>	HR>HR	Estruturas em ambientes muito húmidos (exteriores ou interiores)

São previstas pelo EC5:1-1 (EC5:Parte1-1, 2004), relativamente à duração das ações, cinco categorias associadas à duração acumulada dos valores das ações, que são apresentadas resumidamente no quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Classe de duração das ações (EC5:Parte1-1, 2004)

Classe de duração das ações	Ordem de grandeza da duração acumulada do valor característico da ação	Exemplo de ações
<b>Permanente</b>	> 10 Anos	Peso próprio
<b>Longa duração</b>	Entre 6 meses a 10 anos	Sobrecargas de cargas permanentes (mobiliário, produtos armazenados)
<b>Média duração</b>	Entre 1 semana e 6 meses	Sobrecargas correntes (pessoas), neve em certos casos
<b>Curta duração</b>	< 1 Semana	Vento
<b>Instantânea</b>		Vento, sismo, ações acidentais

#### 4.1.1.3 Verificação da segurança

A regulamentação aplicada para a verificação da segurança das estruturas de madeira encontra-se definida no Euro código 5. Esta norma encontra-se dividida em 3 partes:

- EN 1995-1-1:2004 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1 – 1: General Common rules and rules for buildings;

- EN 1995-1-2:2004 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1 – 2: General – structural fire design;
- EN 1995-2:2004 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 2: Bridges.

Na parte 1-1 são apresentados modelos de cálculo aplicáveis à avaliação da capacidade resistente de peças estruturais em madeira para a verificação dos estados limite últimos e utilização. Apresenta também diversos formulários de cálculo destinados ao dimensionamento dos vários tipos de elementos de ligação mais frequentes nas estruturas de madeira.

Na parte 1-2 podem ser consultadas as regras gerais de verificação da madeira para situações de incêndio. São abordadas várias metodologias de aplicação muito simples para os vários constituintes das estruturas de madeira, sem proteção ao fogo.

Por fim, na segunda parte, são apresentadas regras simples a aplicar no caso de pontes correntes em madeira.

## 4.1.2 METODOLOGIA PARA VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA

### 4.1.2.1 Apresentação geral do Eurocódigo 5: Parte 1-1

O Eurocódigo 5, Parte 1-1, publicado em Portugal pela primeira vez em Novembro de 2004, estabelece os princípios gerais para o projeto de estruturas de madeira, assim como as regras específicas para edifícios. Apresenta os seguintes capítulos:

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

Na parte inicial do documento é apresentada uma lista relativa às normas europeias de referência usadas no cálculo de estruturas de madeira e também, como é habitual nas normas, apresenta uma lista completa com todos os símbolos utilizados.

Nos primeiros cinco capítulos são definidos os princípios gerais que devem ser utilizados na verificação da estabilidade das estruturas. Os capítulos seguintes definem regras particulares de cálculo para elementos e sistemas estruturais e regras para esforços simples e combinados, incluindo a verificação dos Estados Limites.

#### **4.1.2.2 Requisitos básicos de projeto**

Os requisitos básicos de projeto definem os aspetos fundamentais de carácter geral a respeitar pelos projetistas na realização do cálculo de estruturas de madeira.

Este tipo de projeto de estruturas deve estar de acordo com a NP EN 1990: 2009, Eurocódigo 0: Bases para projetos de estruturas (EC0, 2009), que define as regras base de qualquer projeto.

Os requisitos básicos de projeto também transmitem que os modelos de cálculo para os diferentes estados limites devem ter em conta, conforme o caso:

- As diferentes propriedades dos materiais (por exemplo, resistência e rigidez);
- Os diferentes comportamentos no tempo dos materiais (duração da ação, fluência);
- As diferentes condições climáticas (temperatura, variações de humidade);
- As diferentes situações de cálculo (fases de construção, alteração das condições de apoio).

De uma maneira geral, a verificação da segurança estrutural pode ser realizada recorrendo a valores médios na determinação dos parâmetros de rigidez:  $E_{mean}$ ,  $G_{mean}$  e  $K_{ser}$ . Para tal, os elementos da estrutura devem apresentar as mesmas características em função do tempo e devem efetuar-se análises lineares elásticas de primeira ordem. Como na presente dissertação não se consideram materiais com as mesmas características será apresentado posteriormente o método de cálculo. (capítulo 4.1.2.3.1.)

Relativamente às deformações de uma estrutura, devido aos efeitos das ações e da variação do teor de água, estes devem manter-se dentro dos limites apropriados. Caso contrário estas deformações podem causar danos em elementos não estruturais, ao nível de materiais de revestimento, tetos, pavimentos, divisórias e acabamentos, alterando-se o seu aspeto visual e o nível das exigências funcionais.

A deformação instantânea,  $U_{inst}$ , segundo o EC5:1-1 (EC5:Parte1-1, 2004), deve ser calculada para a combinação de ações (EC0, 2009), através da utilização dos valores médios apropriados dos módulos de elasticidade, de distorção e de deslizamento. A deformação final,  $U_{fin}$ , deverá ser calculada para a combinação de ações quase-permanente (EC0, 2009).

Para estruturas constituídas por elementos, componentes e ligações com as mesmas características de fluência, e na hipótese de uma relação linear entre as ações e as deformações correspondentes, a deformada final,  $U_{fin}$ , poderá ser considerada igual a:

$$U_{fin} = U_{fin,G} + U_{fin,Q_1} + \sum_{i>1} U_{fin,Q_i} \quad (4.1)$$

Em que, para uma ação permanente, G:

$$U_{fin,G} = U_{int,G}(1 + k_{def}) \quad (4.2)$$

Para a ação da variável principal de base da combinação,  $Q_1$ :

$$U_{fin,Q_1} = U_{inst,Q_1}(1 + \psi_{2,1}k_{def}) \quad (4.3)$$

Para a ação das variáveis secundárias  $Q_i (i > 1)$ :

$$U_{fin,Q_i} = U_{inst,Q_i}(\psi_{0,i} + \psi_{2,i}k_{def}) \quad (4.4)$$

Sendo,

$U_{fin,G}$ ,  $U_{fin,Q_1}$ ,  $U_{inst,Q_i}$  – Deformações instantâneas para as respetivas ações: G,  $Q_1$  e  $Q_i$ ;

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

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

$k_{def}$  – Fator para a avaliação da deformação devido à fluência de acordo com a classe de serviço do material (ver 4.1.2.4.4.)

Para estruturas constituídas por elementos ou componentes com diferentes características de fluência, ou seja, com diferentes comportamentos e propriedades ao longo do tempo, a

deformação final deverá ser calculada utilizando os valores médios apropriados dos módulos de elasticidade, de distorção e de deslizamento. (capítulo 4.1.2.3.2.)

#### 4.1.2.3 Estados Limite

O estado limite é atingido quando uma estrutura, ou parte dela, deixa de estar operacional ou quando já não satisfaz as condições que foram previstas para a sua utilização (EC0, 2009). Para que os requisitos esperados de uma estrutura sejam cumpridos é necessário que esta reúna as condições apropriadas ao nível da segurança, funcionalidade e durabilidade.

Para se realizar esta análise é necessário recorrer ao cálculo da resistência mecânica e aptidão ao uso. Como se trata do estudo de estruturas de madeira é necessário ter em conta a duração das ações e o teor de água porque estas afetam as características de resistência e de rigidez.

O estado limite, é assim atingido, quando uma estrutura apresenta um desempenho que não corresponde eficazmente às condições enunciadas em cima. Assim, uma construção pode atingir um estado limite do tipo estrutural ou funcional, ou seja, respetivamente (Santos, 2009):

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

##### 4.1.2.3.1 Estados Limite últimos

Os estados limite últimos estão relacionados com um colapso, ou qualquer outro tipo de falhas estrutural. Correspondem, em geral, à capacidade resistente máxima de uma estrutura ou de um elemento estrutural (EC0, 2009).

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

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1+\psi_2 k_{def})} \quad (4.5)$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1+\psi_2 k_{def})} \quad (4.6)$$

$$k_{ser,fin} = \frac{k_{ser}}{(1+\psi_2 k_{def})} \quad (4.7)$$

Em que,

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

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

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

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

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

$k_{ser}$  – Módulo de deslizamento;

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

#### 4.1.2.3.2 Estados Limite de utilização

Os estados limite de utilização estão relacionados com a durabilidade, o conforto do utilizador, a aparência e o bom funcionamento de uma estrutura, ou seja, correspondem à impossibilidade do uso normal da mesma.

Para verificar a segurança quanto aos estados limites de utilização, os valores médios finais do módulo de elasticidade ( $E_{mean,fin}$ ), do módulo de distorção ( $G_{mean,fin}$ ), e do módulo de deslizamento ( $k_{ser,fin}$ ), utilizados para o cálculo da deformação final, devem ser obtidos através das seguintes equações:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1+k_{def})} \quad (4.8)$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1+k_{def})} \quad (4.9)$$

$$k_{ser,fin} = \frac{k_{ser}}{(1+k_{def})} \quad (4.10)$$

#### 4.1.2.4 Verificação através dos métodos dos coeficientes parciais

##### 4.1.2.4.1 Valor de cálculo de uma propriedade de um material

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

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (4.11)$$

Em que,

$\mathcal{X}_d$  - Valor de cálculo de uma propriedade de resistência;

$\mathcal{X}_k$  - Valor característico de uma propriedade de resistência;

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

$k_{mod}$  - Fator de modificação da resistência, que tem em conta a duração da carga e o teor em água do material (ver 4.1.2.4.4.).

No quadro seguinte são apresentados os valores recomendados pelo EC5:1-1 (EC5:Parte1-1, 2004), dos coeficientes parciais de segurança ( $\gamma_M$ ).

Quadro 4.4 – Coeficientes parciais de segurança (EC5:Parte1-1, 2004)

<b>Combinações fundamentais</b>	Madeira maciça	1,3
	Madeira Lamelada Colada	1,25
	LVL, contraplacado, OSB	1,2
	Aglomerado de partículas de madeira (MDF)	1,3
	Ligadores em placas metálicas perfuradas	1,25
<b>Combinações de acidente</b>		1,0

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

O valor de cálculo de uma propriedade de rigidez de um elemento, deve ser obtido utilizando as seguintes equações:

$$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M} \quad (4.12)$$

$$G_d = \frac{G_{mean}}{\gamma_M} \quad (4.13)$$

Em que,

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

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

#### 4.1.2.4.2 Valor de cálculo das resistências

O valor de cálculo de uma resistência ( $R_d$ ), ou capacidade resistente é dada pela seguinte equação:

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (4.14)$$

Em que,

$R_k$  - Valor característico da capacidade resistente

#### 4.1.2.4.3 Classes de resistência

Tradicionalmente, as propriedades eram associadas às siglas das classes de qualidade, por sua vez atribuídas com base nos requisitos definidos em normas de classificação visual ou mecânica. O conceito de classe de resistência vem ainda mais disciplinar o controle de qualidade da madeira estrutural e facilitar a atividade dos projetistas na especificação do material e na correta escolha das propriedades físicas e mecânicas a usar nos cálculos.

O princípio das classes de resistência consiste na atribuição das principais propriedades físicas e mecânicas a uma dada população de madeiras para estruturas, de forma simples e objetiva, de modo a facilitar a sua aplicação em trabalhos concretos. O conceito de classes de resistência pretende tratar a madeira para estruturas exatamente da mesma forma que o betão armado e o aço, introduzindo assim um fator de segurança adicional na especificação dos materiais, já que bastará ao projetista definir a classe de resistência que usou no cálculo. No quadro seguinte são apresentados os valores característicos para as classes de resistência das resinosas. A letra C refere-se a resinosas (de Coniferous, resinosas em inglês) e o número representa o valor da resistência característica à flexão na direção do fio (Faria & Negrão. 2009).

Quadro 4.5 – Valores característicos para as classes de resistência: Resinosas (IPQ, 2003)

Espécies resinosas		Classes de resistência											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
<b>Propriedades resistentes, em <math>N/mm^2</math> (Mpa)</b>													
Flexão	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tração    ao fio	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Tração ⊥ ao fio	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão    ao fio	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Compressão ⊥ ao fio	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Corte	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8
<b>Propriedades de rigidez, em <math>kN/mm^2</math> (Gpa)</b>													
Módulo de elasticidade    ao fio (valor médio)	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
Módulo de elasticidade    ao fio (valor característico)	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
Módulo de elasticidade ⊥ ao fio (valor médio)	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Módulo de distorção (valor médio)	$G_{mean}$	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
<b>Massa volúmica, em <math>kg/m^3</math></b>													
Valor característico	$\rho_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Valor médio	$\rho_{kmean}$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550
Nota: Os valores tabelados correspondem a madeira com um teor em água em equilíbrio com uma temperatura de 20°C e humidade relativa do ar de 65%.													

De seguida, no quadro 4.6, são apresentados os valores característicos para as classes de resistência das folhosas. A letra D refere-se a folhosas (de Diciduous, folhosas em inglês) e o número, tal como nas resinosas, representa o valor da resistência característica à flexão na direção do fio (Faria & Negrão. 2009).

Quadro 4.6 – Valores característicos para as classes de resistência: Folhosas (IPQ, 2003)

Espécies folhosas		Classes de resistências					
		D30	D35	D40	D50	D60	D70
<b>Propriedades resistentes, em <math>N/mm^2</math> (Mpa)</b>							
Flexão	$f_{m,k}$	30	35	40	50	60	70
Tração    ao fio	$f_{t,0,k}$	18	21	24	30	36	42
Tração $\perp$ ao fio	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão    ao fio	$f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
Compressão $\perp$ ao fio	$f_{c,90,k}$	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Corte	$f_{v,k}$	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
<b>Propriedades de rigidez, em <math>kN/mm^2</math> (Gpa)</b>							
Módulo de elasticidade    ao fio (valor médio)	$E_{0,mean}$	10	10	11	14	17	20
Módulo de elasticidade    ao fio (valor característico)	$E_{0,05}$	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Módulo de elasticidade $\perp$ ao fio (valor médio)	$E_{90,mean}$	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Módulo de distorção (valor médio)	$G_{mean}$	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
<b>Massa volúmica, em <math>kg/m^3</math></b>							
Valor característico	$\rho_k$	530	560	590	650	700	900
Valor médio	$\rho_{kmean}$	640	670	700	780	840	1080
Nota: Os valores tabelados correspondem a madeira com um teor em água em equilíbrio com uma temperatura de 20°C e humidade relativa do ar de 65%.							

No quadro seguinte são apresentadas as classes de resistências para a madeira lamelada colada que se limita exclusivamente às resinosas. São apresentadas quatro classes de resistência para a madeira lamelada colada homogênea (GLh), com uma secção transversal em que todas as lamelas pertencem à mesma classe de resistência e à mesma espécie, e quatro classes de resistência também, para a madeira lamelada colada combinada (GLc), com uma secção transversal em que as lamelas exteriores e interiores pertencem a classes de resistência ou espécies diferentes. As letras GL provêm de laminado colado (de glued laminated, em inglês) e o número refere o valor característico de resistência à flexão na direção do fio (Faria & Negrão. 2009).

Quadro 4.7 – Valores característicos para as classes de resistência de lamelados colados homogêneos e combinados (NP EN 1194:2002)

		GL24	GL28	GL32	GL36	GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
<b>Propriedades resistentes, em <math>N/mm^2</math> (Mpa)</b>									
Flexão	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36	24	28	32	36
Tração    ao fio	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26	14	16,5	19,5	22,5
Tração $\perp$ ao fio	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6	0,35	0,4	0,5	0,6
Compressão    ao fio	$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31	21	24	29	31
Compressão $\perp$ ao fio	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6	2,4	2,7	3,3	3,6
Corte	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3	2,2	2,7	3,8	4,3
<b>Propriedades de rigidez, em <math>kN/mm^2</math> (Gpa)</b>									
Módulo de elasticidade    ao fio (valor médio)	$E_{0,g,mean}$	11,6	12,6	13,7	14,7	11,6	12,6	13,7	14,7
Módulo de elasticidade    ao fio (valor característico)	$E_{0,g,05}$	9,4	10,2	11,1	11,9	9,4	10,2	11,1	11,9
Módulo de elasticidade $\perp$ ao fio (valor médio)	$E_{90,g,mean}$	0,39	0,42	0,46	0,49	0,32	0,39	0,46	0,49
Módulo de distorção (valor médio)	$G_{g,mean}$	0,72	0,78	0,85	0,91	0,59	0,72	0,85	0,91
<b>Massa volúmica, em <math>kg/m^3</math></b>									
Valor característico	$\rho_{g,k}$	380	410	430	450	350	380	430	450

#### 4.1.2.4.4 Valores de $K_{mod}$ e $k_{def}$

Nos quadros apresentados de seguida, 4.8 e 4.9, podem ser consultados, respetivamente, os valores de  $K_{mod}$  e  $k_{def}$ . Estes são fatores de modificação de elevada importância para o cálculo de estruturas de madeira, sendo o primeiro relativo à resistência e o segundo relativo à deformação.

Quadro 4.8 – Valores de  $k_{mod}$  (EC5:Parte1-1, 2004)

Material	Norma	Classe de serviço	Classe de duração das ações				
			Ação permanente	Ação de longa duração	Ação de média duração	Ação de curta duração	Ação instantânea
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
Madeira lamelada colada	EN 14080	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
LVL	EN 14374, EN 14279	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
Contraplacado	EN 636						
	Parte 1, 2 e 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	Parte 2 e 3	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	Parte 3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
OSB	EN 300						
	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	OSB/3, OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	OSB/3, OSB/4	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Aglomerado de partículas de madeira	EN 312						
	Parte 4 e 5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	Parte 5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
	Parte 6 e 7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	Parte 7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Aglomerado de fibras de madeira dura	EN 622-2						
	HB.LA,HB.HLA 1/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	HB.HLA 1/2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Aglomerado de fibras de madeira semi-dura	EN 622-3						
	MBH.LA 1/2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MBH.HLS 1/2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MBH.HLS 1/2	2	-	-	-	0,45	0,80
Aglomerado de fibras de madeira de média densidade(MDF)	EN 622-5						
	MDF.LA,	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MDF.HLS	2	-	-	-	0,45	0,80
	MDF.HLS						

Quadro 4.9 – Valores de  $k_{def}$  (EC5:Parte1-1, 2004)

Material	Norma	Classe de serviço		
		1	2	3
Madeira maciça	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Madeira lamelada colada	EN 14080	0,60	0,80	2,00
LVL	EN 14374, EN 14279	0,60	0,80	2,00
Contraplacado	EN 636			
	Parte 1	0,80	-	-
	Parte 2	0,80	1,00	-
	Parte 3	0,80	1,00	2,50
OSB	EN 300			
	OSB/2	2,25	-	-
	OSB/3, OSB/4	1,50	2,25	-
Aglomerado de partículas de madeira	EN 312			
	Parte 4	2,25	-	-
	Parte 5	2,25	3,00	-
	Parte 6	1,50	-	-
	Parte 7	1,50	2,25	-
Aglomerado de fibras de madeira dura	EN 622-2			
	HB.LA	2,25	-	-
	HB.HLA1,HB.HLA2	2,25	3,00	-
Aglomerado de fibras de madeira semi-dura	EN 622-3			
	MBH.LA1, MBH.LA2	3,00	-	-
	MBH.HLS1, MBH.HLS2	3,00	4,00	-
Aglomerado de fibras de madeira de média densidade(MDF)	EN 622-5			
	MDF.LA	2,25	-	-
	MDF.HLS	2,25	3,00	-

#### 4.1.3 ESTADO-LIMITE ÚLTIMO

Em condições naturais, a madeira encontra-se sujeita a tensões de compressão e de flexão na direção do fio, resultantes do peso próprio da árvore e devido a regimes de ventos predominantes. Com estas condições, impostas pela própria Natureza é natural que sob condições de serviço em flexão e esforço axial na direção do fio que o material apresenta um melhor desempenho, tanto em termos de resistência como de rigidez.

Como já foi referido no capítulo 2, a madeira apresenta três direções principais: longitudinal, tangencial e radial. Embora existam diferenças entre as duas últimas no que toca a variações dimensionais originadas pela variação do teor de água, as respetivas propriedades de resistência e rigidez são semelhantes. Por esta razão, o estudo a nível estrutural é feito apenas entre as direções longitudinal (paralela ao fio) e transversal (perpendicular ao fio) como se apresenta de seguida (Faria & Negrão. 2009).

#### 4.1.3.1 Peças com esforços axiais paralelas ao fio

Em elementos de madeira estrutural os elementos comprimidos são menos sensíveis aos defeitos, isto porque o esforço de compressão se pode transmitir através do volume do nó e os elementos tendem a fechar as fendas. Quando se trata de peças tracionadas os mesmos defeitos vão criar descontinuidades que dificultam a transmissão dos esforços.

Segundo Faria & Negrão, 2009, o comportamento em tração paralelo ao fio é praticamente linear até ao momento em que ocorre a rotura. A rotura por tração é frágil, visto que não se desenvolve nenhum patamar de plastificação. No caso das compressões paralelas ao fio à medida que a rotura se aproxima desenvolve-se um patamar de deformação que resulta do esmagamento das fibras (Faria & Negrão. 2009).

##### 4.1.3.1.1 Tração paralela ao fio

Para a tração paralela ao fio, o critério de verificação de segurança é apresentado na fórmula seguinte:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (4.15)$$

Em que,

$\sigma_{t,0,d}$  - Valor de cálculo da tensão atuante de tração;

$f_{t,0,d}$  - Valor de cálculo da resistência à tração paralela ao fio.

Quando existem casos que a secção transversal apresenta dimensões reduzidas é possível considerar-se um aumento do valor da resistência, devido ao efeito de volume que afeta algumas das propriedades resistentes, principalmente flexão e à tração.

Faria & Negrão, 2009, explicam este facto como sendo possível verificar que a probabilidade de rotura de um volume de madeira sujeito a um nível especificado de tensão é tanto maior

quanto maior o volume em questão. Uma interpretação para este facto é que a probabilidade de existência de um defeito oculto de grandes dimensões aumenta com a dimensão da peça. Quando o efeito de volume se verifica, na expressão anterior deve ser corrigido o valor da resistência para a seguinte forma:

$$f'_{t,0,d} = k_h \cdot f_{t,0,d} \quad (4.16)$$

Em que,

$k_h$  - Coeficiente de efeitos de volume

O parâmetro  $k_h$ , não inferior à unidade, depende da maior dimensão  $h$  da secção transversal. Só é considerado quando se tratam pequenas secções, como tal as secções de madeira maciça de maior dimensão inferior a 150mm e as de madeira lamelada colada de maior dimensão inferior a 600mm. Para secções retangulares o EC5:1-1 (EC5:Parte1-1, 2004) propõe as seguintes expressões para o cálculo deste parâmetro:

Para madeira maciça:

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{150}{h} \right)^{0,2} ; 1,3 \right\} , \text{ com } h \leq 150 \text{ mm} \quad (4.17)$$

Para madeira lamelada colada:

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{600}{h} \right)^{0,1} ; 1,1 \right\} , \text{ com } h \leq 600 \text{ mm} \quad (4.18)$$

A diferença que se faz notar entre a madeira maciça e a madeira lamelada colada resulta principalmente do processo de produção desta última. A reconstituição do elemento estrutural a partir de colagens de lamelas comparativamente finas torna improvável, pelo efeito de dispersão que origina, a ocorrência de um defeito de dimensões críticas (Faria & Negrão. 2009).

O EC5:1-1 (EC5:Parte1-1, 2004) estabelece também um critério de quantificação do efeito do volume em elementos estruturais de LVL através do coeficiente  $k_h$  definido por:

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{3000}{l} \right)^{s/2} ; 1,10 \right\} \text{ com } l \leq 3000 \text{ mm} \quad (4.19)$$

Em que,

$s$  – é um expoente, definido na norma de caracterização do produto (EN 14374:2004) com a expressão:

$$s = 2\nu - 0,05 \quad (4.20)$$

na qual,  $\nu$  é o coeficiente de variação de resultados obtidos experimentalmente.

#### 4.1.3.1.2 Compressão paralela ao fio

O critério de verificação de segurança para a compressão paralela ao fio consiste em limitar o valor de cálculo da tensão atuante de compressão ao da resistência à compressão paralela ao fio:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (4.21)$$

Esta verificação deverá, no caso de elementos esbeltos, ser complementada por uma verificação do risco de encurvadura.

#### 4.1.3.2 Peças com esforços axiais perpendiculares ao fio

Os esforços de tração e compressão perpendiculares ao fio apresentam um comportamento semelhante ao observado anteriormente para a direção paralela, apresentando somente valores mais reduzidos referentes às resistências, porque se admite que a existência de defeitos na peça terá uma influência bastante maior, principalmente em peças de dimensões superiores.

É de alguma importância salientar que estes tipos de esforços devem ser evitados, adotando-se disposições construtivas que os tornem inexistentes, principalmente no caso de dimensionamento de pavimentos. Contudo, segundo (Branco et al., 2006) a tração perpendicular às fibras é uma situação que ocorre apenas em ligações entre vigas principais e secundárias mal executadas. Caso os apoios também sejam executados em madeira, é frequente que aqui também ocorra compressão perpendicular às fibras.

##### 4.1.3.2.1 Tração perpendicular ao fio

O EC5:1-1 (EC5:Parte1-1, 2004) não prevê a solicitação direta da madeira e seus derivados em tração perpendicular ao fio sendo esta, pelo contrário, uma situação a evitar como já foi referido anteriormente. Contudo, o EC5:1-1 (EC5:Parte1-1, 2004) introduz uma cláusula que menciona a necessidade de consideração do efeito de volume para casos em que este esforço esteja presente como característica inerente ao sistema estrutural (Martins, 2010).

##### 4.1.3.2.2 Compressão perpendicular ao fio

A verificação da compressão perpendicular ao fio é, tal como nos outros casos, definida pela imposição de um limite superior ao cálculo da tensão atuante de compressão:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \times f_{c,90,d} \quad (4.22)$$

Em que,

$\sigma_{c,90,d}$  - Valor de cálculo da tensão atuante de compressão perpendicular ao fio;

$f_{c,90,d}$  - Valor de cálculo da tensão resistente de compressão perpendicular ao fio;

$k_{c,90}$  - Fator que traduz o efeito da variação da resistência da peça com a geometria e com a extensão da zona carregada.

O valor de cálculo da tensão atuante de compressão perpendicular ao fio é obtido com referência a uma área de contacto efetiva,  $A_{ef}$ :

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \quad (4.23)$$

Esta área é obtida prolongando 30mm o comprimento carregado real para cada lado, com o máximo aplicado por lado, dado pelo menor de  $a$ ,  $l$  ou  $l_1/2$  (ver figuras 4.3 e 4.4).

Em regra, o valor de  $k_{c,90}$  deverá ser considerado igual à unidade podendo, nos casos particulares que se apresentam de seguida, adotar valores superiores.

Em vigas continuamente apoiadas com  $h \leq l_1/2$  (figura 4.3) os valores de  $k_{c,90}$  a considerar são os seguintes:

$k_{c,90} = 1,25$  para madeira maciça de resinosas;

$k_{c,90} = 1,50$  para madeira lamelada colada de resinosas.

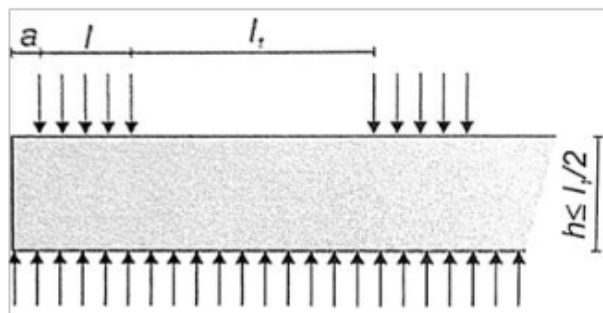


Figura 4.1 - Viga continuamente apoiada (Faria & Negrão. 2009).

Em vigas sobre apoios discretos com  $h \leq l_1/2$  (figura 4.4) os valores de  $k_{c,90}$  a considerar são os seguintes:

$k_{c,90} = 1,50$  para madeira maciça de resinosas;

$k_{c,90} = 1,75$  para madeira lamelada colada de resinosas e  $l \leq 400mm$ .

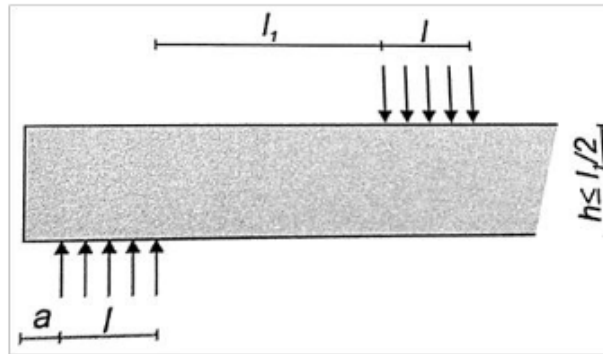


Figura 4.2 - Viga sobre apoios discretos (Faria & Negrão. 2009).

Em que  $l_1$  é a distância entre zonas de carregamento e  $l$  é o comprimento carregado.

#### 4.1.3.3 Peças à flexão

Embora com boa capacidade para suportar esforços de tração e compressão, é em vigas e peças fletidas que a madeira revela em plenitude o seu potencial como material estrutural (Faria & Negrão. 2009).

As combinações dos esforços são tidas em conta na verificação de cada elemento estrutural. Desta forma executa-se uma verificação de segurança a esforços de compressão combinados com esforços de flexão, ou a esforços de tração combinados com esforços de flexão (Martins, 2010).

##### 4.1.3.3.1 Flexão simples

O critério de segurança genérico consiste em limitar o valor máximo, em módulo, de cálculo da tensão atuante de flexão ao valor de cálculo da resistência à flexão:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \quad (4.24)$$

Em que:

$\sigma_{m,d}$  – Valor de cálculo da tensão atuante de flexão;

$f_{m,d}$  – Valor de cálculo da tensão resistente de flexão.

Quando se trata da verificação da resistência de um sistema com sistemas estruturais espaçados uniformemente e ligados lateralmente por um sistema contínuo de distribuição de cargas, os valores de cálculo das tensões resistentes poderão ser multiplicadas por um fator de resistência do sistema,  $k_{sys}$ . Quando o sistema contínuo de distribuição de cargas for

capaz de transferir as cargas de um elemento aos elementos vizinhos, o fator  $k_{sys}$  deverá ser igual a 1,1 (EC5:Parte1-1, 2004).

Quando se verifica uma secção solicitada por momentos fletores nas duas direções principais (flexão simples desviada), admite-se uma redução da contribuição de apenas uma das componentes no momento fletor. O EC5:1-1 (EC5:Parte1-1, 2004) estabelece a verificação simultânea das seguintes equações:

$$k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.25)$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.26)$$

Em que,

$\sigma_{m,y,d}$  e  $\sigma_{m,z,d}$  - São os valores de cálculo das tensões máximas de flexão desviadas aos momentos fletores de cálculo  $M_{y,d}$  e  $M_{z,d}$ ;

$f_{m,y,d}$  e  $f_{m,z,d}$  - São os valores de cálculo das resistências à flexão nos planos xOy e xOz, respetivamente.

O coeficiente  $k_m$  traduz a redistribuição de tensões já mencionada, devendo ser considerado igual a 0,7 para secções retangulares de madeira maciça, lamelada colada ou LVL e igual a 1 para os outros tipos de secções, tais como as circulares. A principal razão de não haver redução nas secções circulares reside no facto de qualquer combinação de componentes de momento fletor ser equivalente a um caso de flexão plana (Faria & Negrão. 2009).

#### 4.1.3.3.2 Flexão composta com tração

Para a ação conjunta de momento fletor e esforço axial de tração, o EC5:1-1 (EC5:Parte1-1, 2004) propõe uma metodologia semelhante à utilizada anteriormente para a flexão simples, sendo acrescentado às equações da flexão simples um termo correspondente à existência de esforço axial:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.27)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.28)$$

Em que,

$\sigma_{t,0,d}$  - Valor de cálculo da tensão atuante;

$f_{t,0,d}$  - Valor de cálculo da resistência à tração na direção do fio.

Os valores de cálculo de  $k_m$  são definidos de forma igual ao caso da flexão simples.

Estas duas últimas expressões baseiam-se na interação linear entre o momento fletor e o esforço axial de tração, que se verifica no comportamento elástico da madeira à tração até à rotura, como já foi referido anteriormente.

#### 4.1.3.3.3 Flexão composta com compressão

Ao contrário do que se verifica no ponto anterior, a rotura da madeira à compressão é não linear e como tal é utilizada uma relação de interação quadrática para o caso da flexão composta com compressão:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (4.29)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (4.30)$$

Os valores de cálculo de  $k_m$  são definidos de forma igual, como no caso da flexão simples.

#### 4.1.3.3.4 Verificação ao bambeamento

O bambeamento é um fenómeno de instabilidade suscetível de ocorrer em vigas esbeltas com flexão relativo ao eixo de maior inércia da secção transversal. Consiste na ocorrência de deslocamentos transversais ao plano de carga, acompanhados de torção da secção (Faria & Negrão. 2009).

Para verificar esta instabilidade, e no caso em que existe apenas um momento  $M_y$  em relação ao eixo de maior resistência  $y$ , as tensões deverão satisfazer a seguinte expressão:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \quad (4.31)$$

Em que:

$k_{crit}$  – Coeficiente que tem em conta a redução da resistência à flexão devida à encurvadura.

O valor deste coeficiente obtém-se da curva de bambeamento, a qual é estabelecida analiticamente no EC5:1-1 (EC5:Parte1-1, 2004) através dos limites que se apresentam de seguida:

$$k_{crit} = \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} \\ 1/(\lambda_{rel,m})^2 \end{array} \left| \begin{array}{l} se \ \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ se \ 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,40 \\ se \ \lambda_{rel,m} \geq 1,40 \end{array} \right. \right\} \quad (4.32)$$

Em que:

$\lambda_{rel,m}$  – Coeficiente de esbelteza relativo à flexão e pode ser obtido através da fórmula seguinte:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (4.33)$$

Em que:

$f_{m,k}$  – Valor característico da resistência à flexão;

$\sigma_{m,crit}$  – Tensão crítica de flexão.

Para uma gama de dimensões habituais de secções retangulares de madeira e considerando  $E_{0,05}/G_{0,05} = 16$ , como é estabelecido na normalização, o valor da tensão crítica de flexão pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$\sigma_{m,crit} = 0,78 \frac{E_{0,05} b^2}{h l_{ef}} \quad (4.34)$$

Em que:

$h$  e  $b$  – correspondem à altura e à base da viga, respetivamente;

$l_{ef}$  – comprimento efetivo de bambeamento.

O calculo efetivo de bambeamento é obtido através da multiplicação do comprimento da viga ( $l$ ) e do parâmetro  $m$ . Para o valor de  $m$  o EC5:1-1 (EC5:Parte1-1, 2004) propõe os valores que se apresentam no quadro seguinte.

Quadro 4.10 – Comprimento efetivo definido em proporção do vão (EC5:Parte1-1, 2004)

Tipo de viga	Carregamento	$m = l_{ef}/l$
<b>Simplemente apoiada</b>	Momento constante	1,0
	Carga uniformemente distribuída	0,9
	Força a meio vão	0,8
<b>Consola</b>	Carga uniformemente distribuída	0,5
	Força na extremidade	0,8
Nota: Se a carga for aplicada na face superior, o $l_{ef}$ deverá ser aumentado de $2h$ e deve ser reduzido de $0,5h$ para uma carga suspensa da face inferior.		

#### 4.1.3.4 Verificação ao corte

A verificação da segurança ao corte de elementos de madeira consiste em limitar o valor de cálculo da tensão atuante de corte ao valor de cálculo da resistência ao corte da madeira em estudo, ou seja:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (4.35)$$

Em que:

$\tau_d$  – Valor de cálculo da tensão atuante de corte;

$f_{v,d}$  – Valor de cálculo da tensão resistente de corte.

O valor de cálculo da tensão atuante de corte depende da forma da secção da peça:

$$\text{Secções retangulares: } \tau_d = \frac{3 Vsd}{2 bh} \quad (4.36)$$

$$\text{Secções circulares: } \tau_d = \frac{4 Vsd}{3 \pi r^2} \quad (4.37)$$

No caso de peças retangulares e sujeitas à flexão deve ser considerada uma largura reduzida da secção, para ter em conta o efeito das fendas. Esta largura, designada por  $b_{ef}$ , é calculada através da expressão que se apresenta de seguida (Faria & Negrão. 2009).

$$b_{ef} = k_{cr} b \quad (4.38)$$

Em que:

Para madeira maciça e lamelada colada:  $k_{cr} = 0,67$ ;

Para outros derivados da madeira:  $k_{cr} = 1,00$ .

#### 4.1.4 ESTADO-LIMITE UTILIZAÇÃO

A madeira e os seus derivados estruturais são materiais de rigidez relativamente baixa comparativamente às resistências mecânicas que apresenta. Esta relação faz com que o seu dimensionamento, na maioria das vezes, seja condicionado pelos estados-limite de utilização. Os estados-limites com maior relevância para a concretização de estruturas de madeira são o de deformação, que trata essencialmente a flecha na extremidade de consolas ou no vão de vigas simplesmente apoiadas; e o de vibração que condiciona principalmente o conforto dos pavimentos (Faria & Negrão. 2009).

##### 4.1.4.1 Estado-limite de deformação

O estado-limite de deformação na madeira é influenciado por diversos fatores, tais como, o teor em água da madeira, duração da carga e nível de tensão.

Na figura seguinte são apresentadas as várias componentes da deformação que uma viga simplesmente apoiada apresenta quando sujeita a uma determinada combinação de ações.

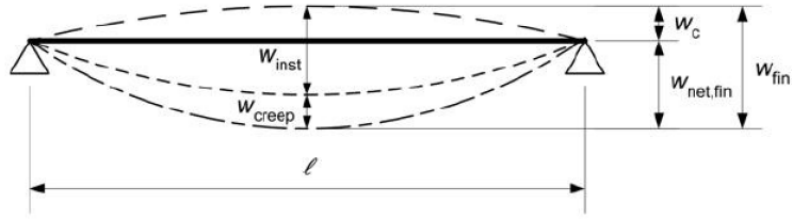


Figura 4.3 – Componentes da deformação de uma viga (EC5:Parte1-1, 2004)

A deformação, obtida através do desvio relativamente a uma linha reta imaginária entre os dois apoios da viga, é dada pela deformada final, que se traduz pela seguinte expressão:

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c \quad (4.39)$$

Em que,

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

$w_{inst}$  - Deformada instantânea;

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

$w_c$  - Pré-deformada (se existir);

$w_{fin}$  - Deformada final total.

O valor das deformações apresentadas, de acordo com o EC5:1-1 (EC5:Parte1-1, 2004), não devem exceder os valores apresentados no quadro 4.11 e dependem essencialmente das condições de apoio das vigas.

Quadro 4.11 – Valores limite de deformadas em vigas (EC5:Parte1-1, 2004)

	$w_{inst}$	$w_{net,fin}$	$w_{fin}$
<b>Viga simplesmente apoiada</b>	$l/300$ a $l/500$	$l/250$ a $l/350$	$l/150$ a $l/300$
<b>Viga em consola</b>	$l/150$ a $l/250$	$l/125$ a $l/175$	$l/75$ a $l/150$

#### 4.1.4.2 Estado-limite de vibração

A vibração em estruturas de madeira está relacionada com uma diversidade de causas, tais como, o funcionamento de máquinas, impactos, ruídos ou até mesmo pela própria utilização humana (Faria & Negrão. 2009).

Um dos aspetos a ter em conta para a verificação do estado-limite de vibração é a frequência a que está sujeito o pavimento. No caso de pavimentos retangulares simplesmente apoiados

no contorno, com dimensões em planta  $l$  e  $b$ , sendo  $l$  o vão principal (menor) com elementos mais rígidos, a frequência fundamental pode ser estimada pela fórmula que se apresenta de seguida:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}}; \text{ [Hz]} \quad (4.40)$$

Em que:

$m$  – massa por unidade de área, em  $Kg/m^2$ ;

$l$  – vão do pavimento, em  $m$ ;

$(EI)$  – fator de rigidez de flexão, em  $Nm^2/m$ .

Para frequências inferiores a 8 Hz ( $f_1 \leq 8$  Hz), os pavimentos deverão ser alvo de um estudo mais rigoroso que não será abordado na presente dissertação.

Para frequências superiores a 8 Hz a verificação do estado-limite de vibração é expresso, pelo EC5:1-1 (EC5:Parte1-1, 2004), pelas duas verificações:

$$\frac{w}{F} \leq a; \text{ [mm/kN]} \quad (4.41)$$

$$v \leq b^{(f_1^{\tau-1})}; \text{ [m/Ns}^2\text{]} \quad (4.42)$$

Em que:

$w$  – deformação instantânea vertical máxima causada por uma força vertical estática concentrada  $F$  aplicada em qualquer ponto do pavimento, tendo em conta a distribuição de cargas;

$\tau$  – coeficiente de amortecimento modal, considerado igual a 1% ou 0,01 para pavimentos correntes;

$v$  – é a velocidade de resposta a um impulso unitário, isto é, o valor inicial máximo da velocidade de vibração do pavimento (em  $m/s$ ) devido a um impulso unitário (1Ns) aplicado no ponto do pavimento que origina a resposta máxima (geralmente, o ponto central do painel). Podem desprezar-se os modos de frequência superior a 40 Hz.

Para o pavimento com as condições apresentadas, o valor  $v$  pode ser calculado, de forma aproximada, através da seguinte expressão:

$$v = \frac{4(0,4+0,6n_{40})}{mbt+200}; \text{ [m/s]} \quad (4.43)$$

Em que:

$n_{40}$  – Número de modos de vibração de primeira ordem com frequências próprias até 40 Hz;

$b$  – largura do pavimento, em  $m$ ;

$m$  – massa, em  $Kg/m^2$ ;

$l$  – vão do pavimento, em  $m$ .

O valor do parâmetro  $n_{40}$  pode ser calculado através da formula que se apresenta de seguida:

$$n_{40} = \left\{ \left( \left( \frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \left( \frac{b}{l} \right)^4 \frac{(EI)_L}{(EI)_b} \right\}^{0,25} \quad (4.44)$$

Em que:

$(EI)_L$  – fator de rigidez de flexão segundo o vão principal, em  $Nm^2/m$ ;

$(EI)_b$  – fator de rigidez de flexão para a direção transversal  $b$ , em  $Nm^2/m$ , devendo ser

$(EI)_b < (EI)_L$ .

Os valores dos coeficientes  $a$  e  $b$ , intervenientes nas expressões 4.41 e 4.42 podem obter-se a partir da curva que se apresenta na figura seguinte.

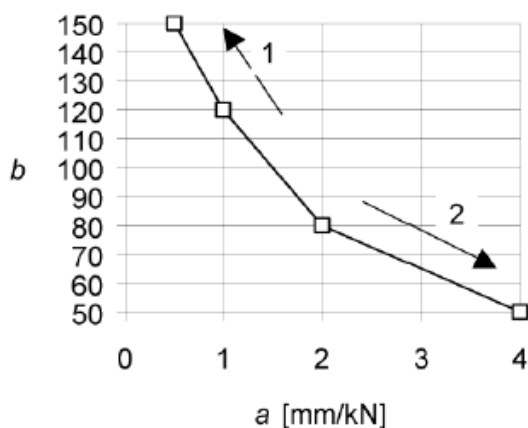


Figura 4.4 – Valores limites recomendados de  $a$  e  $b$  (EC5:Parte1-1, 2004)

## 4.2 EXIGÊNCIAS TÉRMICAS

### 4.2.1 REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS

O decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril, veio aprovar o primeiro instrumento legal que em Portugal impôs requisitos de forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nos projetos de novos edifícios e de grandes remodelações sem necessidades excessivas de energia quer no Inverno, quer no Verão (LNEC, 2006).

Também designado por RCCTE, o regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios, é aplicável, na generalidade, a cada uma das frações autónomas de todos os novos edifícios de habitação, edifícios de serviços com área útil menor que 1000m<sup>2</sup>, e de todos os edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados ou com sistemas de climatização de potência menor que 25kW. O regulamento em causa exclui os edifícios ou frações autónomas destinadas a serviços, a edifícios utilizados como locais de culto ou para fins industriais bem como infraestruturas militares.

As condições ambientais interiores de referência, usadas pelo presente regulamento para a obtenção da metodologia de cálculo e de um melhor conforto são de 20°C para a temperatura do ar, na estação de aquecimento (Inverno), e uma temperatura de 25°C e 50% de humidade relativa para a estação de arrefecimento (Verão).

As exigências regulamentares aplicam-se aos espaços úteis interiores dentro de cada fração autónoma ou corpo do edifício, os quais requerem condições interiores de conforto. Estes espaços ao serem delimitados por elementos construtivos, nomeadamente paredes, pavimentos, coberturas, envidraçados e portas, criam as envolventes que permitem o estudo das exigências térmicas:

- Envolvente exterior, quando definem a fronteira entre o espaço útil interior e o ambiente exterior;
- Envolvente interior, quando definem a fronteira entre o espaço útil interior e outros espaços interiores não climatizados, tais como, garagens, armazéns, lavandarias, caixas de escadas, outras frações não habitacionais (comércio e serviços), sótãos e caves não habitadas, acessíveis ou não, entre outros.

O regulamento apresentado encontra-se dividido em cinco capítulos (18 artigos):

- I – Objeto e âmbito de aplicação;
- II – Definições, índices e parâmetros de caracterização;
- III – Requisitos energéticos;
- IV – Licenciamento;
- V – Disposições finais e transitórias

Do capítulo I ao IV é apresentado o âmbito, as definições, índices e parâmetros necessários ao uso adequado do regulamento, os requisitos energéticos e o licenciamento necessário a fazer aquando da sua aplicação. No último capítulo são fixados os valores limite das diversas necessidades nominais de energia: aquecimento, arrefecimento, preparação de águas quentes sanitárias e energia primária.

Como fonte de consulta e aplicação dos conceitos transmitidos nos capítulos, o RCCTE apresenta também nove anexos, que para além de apoiarem a base de cálculo servem para consulta de dados.

#### **4.2.1.1 Parâmetros fundamentais**

O regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios prevê o cálculo de índices e parâmetros de caracterização necessários à quantificação energética do edifício. Os índices térmicos fundamentais a quantificar são: os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento,  $N_{ic}$ , das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento,  $N_{vc}$ , e das necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias,  $N_{ac}$ , bem como as necessidades globais de energia primária,  $N_{tc}$ . Quanto aos parâmetros de caracterização a quantificar apresentam-se: os coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente, a classe de inércia térmica do edifício ou da fração autónoma, o fator solar dos vãos envidraçados e a taxa de renovação de ar.

Apesar de ser necessário o cálculo dos índices e parâmetros anteriormente descritos para a garantia do conforto térmico, na realização da presente dissertação, a abordagem a todos os parâmetros fundamentais vai ser reduzida, e somente vão ser caracterizados os necessários. Como o tema trata apenas o elemento pavimento, apresenta-se de seguida o âmbito de cada parâmetro necessário à avaliação do conforto térmico do mesmo.

##### 4.2.1.1.1 Divisão climática do país

O RCCTE divide o país em três zonas climáticas de Inverno ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ) e três zonas climáticas de Verão ( $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ). Na delimitação destas zonas é necessário ter em conta a altitude e a distância do local à costa litoral para, se assim se propor, efetuar as correções necessárias. As zonas climáticas de referência de Portugal continental podem ser observadas nos mapas

da figura seguinte, contudo para uma melhor consulta, o RCCTE dispõe de um quadro onde é discriminado o zonamento climático por concelhos.

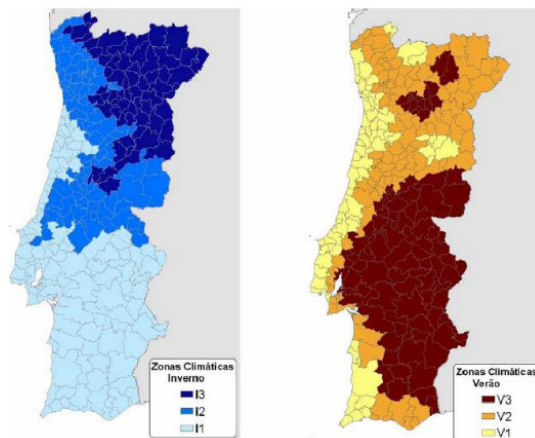


Figura 4.5 – Zonas climáticas para Portugal Continental (RCCTE, 2006)

#### 4.2.1.1.2 Coeficiente de transmissão térmica:

O coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ) é definido pelo RCCTE como, a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície do elemento em estudo de área unitária por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa. Quando os elementos são constituídos por um ou vários materiais, em camadas de espessura constante, o coeficiente de transmissão térmica é calculado pela seguinte fórmula:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}} \quad [W/(m^2 \cdot ^\circ C)] \quad (4.45)$$

Em que,

$R_j$  - Resistência térmica da camada  $j$  ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ );

$R_{si}$  e  $R_{se}$  - Resistências térmicas superficiais interior e exterior, respetivamente ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ).

Tratando-se de materiais com camadas constantes, a resistência térmica,  $R_j$  é calculada como sendo o quociente entre a espessura da camada, e o valor de cálculo da condutibilidade térmica do material que a constitui,

$$R_j = \frac{e_j}{\lambda_j} \quad [(m^2 \cdot ^\circ C)/W] \quad (4.46)$$

Em que:

$e_j$  - Espessura do material;

$\lambda_j$  - Condutibilidade térmica do material

Para materiais em que a espessura não se mantém constante a resistência térmica deve ser calculada de acordo com a metodologia estabelecida na norma europeia EN ISO 6946 ou consultada diretamente em tabelas.

Os valores das resistências térmicas superficiais do elemento construtivo em estudo, em função do sentido do fluxo de calor, podem ser consultados no quadro que se apresenta de seguida.

Quadro 4.12 – Resistências térmicas superficiais

Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$		
	Exterior $R_{se}$	Local não aquecido	Interior $R_{si}$
<b>Vertical:</b>			
<b>Ascendente</b>	0,04	0,10	0,10
<b>Descendente</b>	0,04	0,17	0,17

#### 4.2.1.1.3 Coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos ( $\tau$ )

Quando a verificação do conforto térmico requer o estudo de um elemento em contacto com um local não aquecido é necessário o cálculo do coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos ( $\tau$ ).

Para a determinação deste coeficiente é necessário definir o tipo de espaço não útil em estudo e calcular o valor de  $A_i$ , área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil e o valor de  $A_u$ , área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior. Seguidamente o valor é retirado no quadro que se apresenta de seguida.

Quadro 4.13 – Valores do coeficiente  $\tau$  (RCCTE, 2006)

Tipo de espaço não-útil		Ai / Au		
		0 a 1	1 a 10	>10
1. Circulação comum				
1.1.Sem abertura direta para o exterior		0,6	0,3	0
1.2.Com abertura permanente para o exterior	a) Área de aberturas permanentes/ Volume total < 0,05 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,8	0,5	0,1
	b) Área de aberturas permanentes/ Volume total ≥ 0,05 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0,9	0,7	0,3
2. Espaços comerciais		0,8	0,6	0,2
3. Edifícios adjacentes		0,6	0,6	0,6
4. Armazéns		0,95	0,7	0,3
5. Garagens				
5.1.Privada		0,8	0,5	0,3
5.2.Coletiva		0,9	0,7	0,4
5.3.Pública		0,95	0,8	0,5
6. Varandas, marquises e similares.		0,8	0,6	0,2
7. Coberturas sobre desvão não habitado (acessível ou não):				
7.1.Desvão não ventilado		0,8	0,6	0,4
7.2.Desvão fracamente ventilado		0,9	0,7	0,5
7.3.Desvão fortemente ventilado			1	

#### 4.2.1.2 Requisitos de verificação regulamentar

Os requisitos de verificação regulamentar necessários para a verificação das exigências térmicas em pavimentos de madeira, é o coeficiente de transmissão térmica, U, e o coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos,  $\tau$ .

O elemento da envolvente de qualquer edifício em estudo, não pode ter um coeficiente de transmissão térmica, U, em zona corrente, superior ao valor correspondente no quadro que se apresenta de seguida.

Quadro 4.14 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos (RCCTE, 2006)

Elemento da envolvente	Zona climática		
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
<b>Elementos exteriores em zona corrente:</b>			
<b>Zonas opacas horizontais</b>	1,25	1,00	0,90
<b>Elementos interiores em zona corrente:</b>			
<b>Zonas opacas horizontais</b>	1,65	1,30	1,20

Quando o coeficiente de redução das perdas térmicas ( $\tau$ ) for maior que 0,7 a envolvente que separa o espaço útil interior do espaço não útil, é considerada como envolvente exterior, ou seja, os requisitos do coeficiente de transmissão térmica a verificar são os correspondentes a elementos exteriores. Quando  $\tau$  for menor que 0,7 a envolvente é considerada como um elemento interior e os requisitos a verificar são os correspondentes.

## 4.3 EXIGÊNCIAS ACÚSTICAS

### 4.3.1 REGULAMENTO GERAL DO RUÍDO

O regime legal sobre poluição sonora, ao longo do tempo, foi objeto de alterações introduzidas por diversos diplomas legais. As últimas foram aprovadas pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro de modo a compatibilizar o Regulamento Geral do Ruído (RGR) com as normas aprovadas e em especial com a adoção de indicadores de ruído ambiente harmonizadas.

O presente regulamento estabelece o regime de prevenção e controlo da poluição sonora, com o objetivo de salvaguardar a saúde humana e o bem estar das populações. É aplicável às atividades ruidosas permanentes e temporárias e a outras fontes de ruído suscetíveis de causar incomodidade, tais como, obras de construção civil, laboração de estabelecimentos comerciais, veículos, tráfegos, feiras, mercados, ruído de vizinhança, entre outros.

O RGR encontra-se dividido em cinco capítulos (34 artigos) e dois anexos e vai enquadrar o regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios, que se apresenta de seguida (RGR, 2007).

### 4.3.2 REGULAMENTO DOS REQUISITOS ACÚSTICOS DOS EDIFÍCIOS

O Decreto-Lei n.º 96/2008, de 9 de Junho veio efetuar a revisão do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios para o tornar conciliável com as exigências do novo Regulamento Geral do Ruído, tratado anteriormente.

O presente regulamento aplica-se à construção, reconstrução, ampliação ou alteração de vários tipos de edifícios, em função dos usos a que os mesmos se destinam, tais como habitacionais, comerciais, hospitalares, recintos desportivos, auditórios, salas, entre outros.

O RRAE encontra-se dividido em três capítulos (15 artigos) e um anexo:

I – Disposições gerais

II – Requisitos acústicos dos edifícios

III – Fiscalização e sanções

O primeiro capítulo apresenta o âmbito de aplicação, definições, responsabilidade e acompanhamento da aplicação e apoio técnico.

No segundo capítulo podem ser consultados os requisitos acústicos dos vários tipos de edifícios que o regulamento trata, tais como, habitacionais, comerciais, hospitalares, recintos desportivos, auditórios, salas, entre outros.

A fiscalização, a classificação das contra ordenações, das sanções acessórias e a aplicação das coimas são tratadas no capítulo três.

Por fim, no anexo do presente regulamento, podem ser consultados alguns valores regulamentares para a obtenção do conforto acústico (RRAE, 2008).

#### 4.3.2.1 Aspectos fundamentais

O regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios prevê a verificação de índices necessários à quantificação da acústica dos edifícios. Para uma melhor compreensão do âmbito destes índices é necessário a abordagem de um dos principais objetivos da acústica, combater o ruído. O ruído é definido como um som indesejável ou desagradável ao ser humano, geralmente medido em decibéis. Na acústica de edifícios distinguem-se os ruídos aéreos, sons fundamentalmente transmitidos através do ar (vozes, música, televisão, etc.) e os ruídos de percussão, sons resultantes de uma ação de choque exercida diretamente sobre um elemento de construção (passos, queda de objetos, arrastar de móveis, bater de portas, etc.). (figura 4.6)

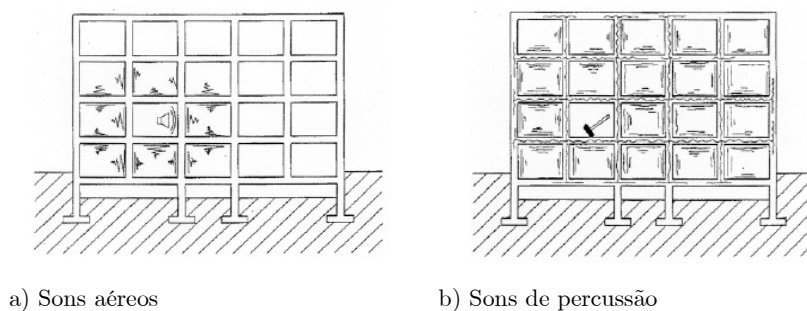


Figura 4.6 – Meios de propagação do som (Reis & Moreira, 2008)

Seguidamente são definidos e caracterizados os índices e parâmetros para uma melhor compreensão das exigências regulamentares a nível acústico. Como as exigências funcionais, a apresentar, são relativas a pavimentos, são apresentados apenas os índices necessários para a avaliação do conforto acústico dos mesmos.

#### 4.3.2.1.1 Tempo de reverberação

O tempo de reverberação ( $T$ ), segundo o RRAE, é o intervalo de tempo necessário para que a energia volúmica do campo sonoro de um recinto fechado se reduza a um milionésimo do seu valor inicial (RRAE, 2008). Por outras palavras, corresponde ao intervalo de tempo necessário da persistência do som num espaço, após ter cessado a vibração da fonte que lhe deu origem. Numa habitação é normal o tempo de reverberação assumir o valor 0,5 segundos. A fórmula que se apresenta de seguida, fórmula empírica de *Sabine*, permite avaliar o tempo de reverberação de um compartimento:

$$T = \frac{0,163 \times V}{\sum_{i=1}^n \alpha_i \times S_i} \quad (4.47)$$

Em que:

$T$  – Tempo de reverberação, em segundos;

$V$  – Volume do compartimento, em  $m^3$ ;

$\alpha_i$  – Coeficiente de absorção do material de revestimento;

$S_i$  – Área da superfície revestida com o material de coeficiente  $\alpha_i$ .

O tempo de reverberação vai depender do volume do compartimento, da frequência do som, do revestimento da envolvente e consequentemente do coeficiente de absorção do revestimento (Reis & Moreira, 2008).

#### 4.3.2.1.2 Isolamento sonoro a sons de condução aérea

O isolamento sonoro a sons de condução aéreo, padronizado,  $D_{nT}$ , segundo o RRAE é, a diferença entre o nível médio de pressão sonora medido no compartimento emissor ( $L_1$ ) produzido por uma ou mais fontes sonoras, e o nível médio de pressão sonora medido no compartimento recetor ( $L_2$ ), corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, segundo a expressão (RRAE, 2008):

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \text{ Log} \left( \frac{T}{T_0} \right) \text{ dB} \quad (4.48)$$

Em que:

$T$  – Tempo de reverberação do comprimento recetor, em segundos;

$T_0$  – Tempo de reverberação de referência; para compartimentos de habitação ou com dimensões comparáveis considera-se  $T_0 = 0,5 \text{ s}$ .

#### 4.3.2.1.3 Nível sonoro de percussão padronizado

O nível sonoro de percussão, padronizado,  $L'_{nT}$ , corresponde ao nível sonoro médio ( $L_i$ ) medido no compartimento recetor, proveniente de uma excitação de percussão normalizada exercida sobre um pavimento, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento recetor, segundo a expressão (RRAE, 2008):

$$L'_{nT} = L_i - 10 \text{ Log} \left( \frac{T}{T_0} \right) \text{ dB} \quad (4.49)$$

#### 4.3.2.2 Requisitos de verificação regulamentar

Os pavimentos dos edifícios que se destinem a usos habitacionais ou que, para além daquele uso, se destinem também a comércio, indústria, serviços ou diversão, estão sujeitos ao cumprimento dos seguintes requisitos acústicos (RRAE, 2008):

- O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{nT,w}$ , entre compartimentos de um fogo, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar de outro fogo, como locais recetores, deve satisfazer o seguinte:

$$D_{nT,w} \geq 50 \text{ dB}$$

- O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{nT,w}$ , entre locais de circulação comum do edifício, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais recetores, deve satisfazer o seguinte:
  - $D_{nT,w} \geq 48 \text{ dB}$ ;
  - $D_{nT,w} \geq 40 \text{ dB}$ , se o local emissor for um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por elevadores;
  - $D_{nT,w} \geq 50 \text{ dB}$ , se o local emissor for uma garagem de estacionamento automóvel.

- O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{nT,w}$ , entre os locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais recetores, deve satisfazer o seguinte:

$$D_{nT,w} \geq 58 \text{ dB}$$

- No interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos como locais recetores, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão,  $L'_{nT,w}$ , proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos dos outros fogos ou de locais de circulação comum do edifício, como locais emissores, deve satisfazer o seguinte:

$$L'_{nT,w} \leq 60 \text{ dB}$$

- No interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais recetores, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão,  $L'_{nT,w}$ , proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, deve satisfazer o seguinte:

$$L'_{nT,w} \leq 50 \text{ dB}$$

Para uma melhor compreensão e para uma análise mais rápida, os requisitos regulamentares para a verificação das exigências acústicas em pavimentos são apresentadas na figura seguinte. Os índices relativos aos sons aéreos encontram-se a cor azul e os índices relativos aos sons de percussão encontram-se a vermelho.

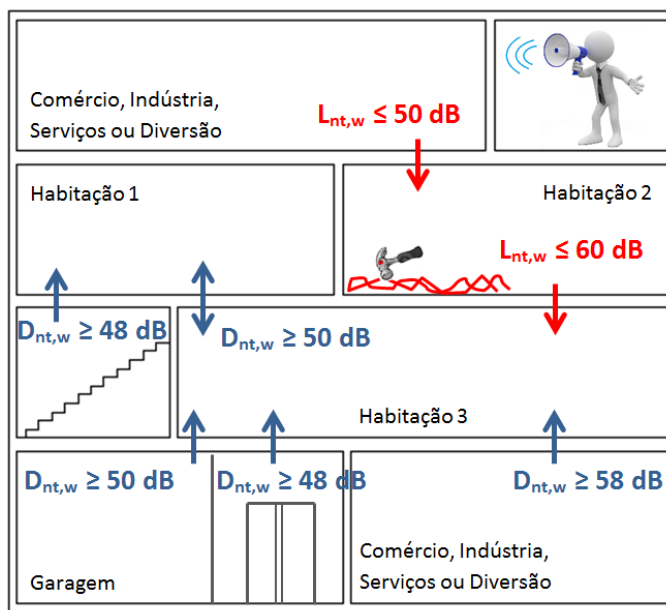


Figura 4.7 – Exigências acústicas dos pavimentos

Nas avaliações in situ e nos edifícios situados em zonas históricas que sejam objeto de ações de reabilitação, para a verificação dos requisitos acústicos deve ser tido em conta um fator de incerteza, I. Este fator, com um valor de 3 dB, deve ser acrescido a  $D_{nT,w}$  e retirado a  $L'_{nT,w}$  para depois se proceder à verificação regulamentar (RRAE, 2008).

## 4.4 EXIGÊNCIAS CONTRA INCÊNDIO

### 4.4.1 REGIME JURÍDICO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS

O Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro estabelece o Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RJ-SCIE) e encontra-se estruturado em 5 capítulos (38 artigos):

Capítulo I – Disposições gerais;

Capítulo II – Caracterização dos edifícios e recintos;

Capítulo III – Condições de SCIE;

Capítulo IV – Processo contra-ordenacional;

Capítulo V – Disposições finais e transitórias.

No capítulo I encontram-se algumas definições, o âmbito e os princípios gerais do regulamento assim como as competências e as várias responsabilidades existentes. No capítulo II é apresentada a divisão das construções em utilizações-tipo (UT), complementadas com quatro categorias de risco de incêndio para cada UT. Do capítulo III ao capítulo V são apresentadas as condições da segurança contra incêndios em edifícios, o processo contra-ordenacional com a definição das contra-ordenações, coimas e as sanções acessórias e por último a disposições finais e transitórias.

Para além destes capítulos, o RJ-SCIE apresenta 6 anexos onde é possível consultar as classes de reação e resistência ao fogo para os produtos de construção, quadros relativos às categorias de risco, elementos exigidos para o projeto de especialidade da segurança contra incêndios em edifícios, fichas de segurança e as equivalências entre as especificações do LNEC e das decisões comunitárias (RJ-SCIE, 2008).

#### 4.4.1.1 Utilizações-tipo

O Regulamento Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios divide os edifícios e recintos em doze utilizações-tipo, quadro 4.15. Estes podem ser de utilização exclusiva quando integram uma única utilização-tipo, quando se trata, por exemplo de uma moradia. Ou de utilização mista, quando integram diversas utilizações-tipo, como por exemplo um comércio no rés-do-chão de um edifício de habitação. Quando se trata de uma utilização mista os edifícios são classificados na categoria de risco mais elevada das respetivas utilizações-tipo, independentemente da área ocupada por cada uma (ANPC, 2008).

Quadro 4.15 – Definição das utilizações-tipo (UT) (RJ-SCIE, 2008)

<b>Utilizações-tipo</b>	<b>Descrição</b>
UT I	Habitacionais
UT II	Estacionamentos
UT III	Administrativos
UT IV	Escolares
UT V	Hospitalares e lares de idosos
UT VI	Espectáculos e reuniões públicas
UT VII	Hoteleiros e restauração
UT VIII	Comerciais e gares de transporte
UT IX	Desportivos e de lazer
UT X	Museus e galerias de arte
UT XI	Bibliotecas e arquivos
UT XII	Industriais, oficinas e armazéns

#### 4.4.1.2 Locais de risco

Todos os locais dos edifícios e recintos, com a exceção dos espaços interiores de cada fogo e das vias horizontais e verticais de evacuação, são classificados de acordo com a natureza do risco de incêndio que apresentam. Esta classificação é obtida pelas características no local, que se podem obter no quadro 4.16.

Quadro 4.16 – Classificação dos locais de risco (RJ-SCIE, 2008)

Local de risco	Características do Local de risco
<b>A</b>	Local que não apresenta riscos especiais, no qual não se verifiquem simultaneamente as seguintes condições: i) o efetivo não exceda 100 pessoas; ii) o efetivo de público não exceda 50 pessoas; iii) Mais de 90% dos ocupantes não se encontrem limitados na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reação a um alarme; iv) as atividades nele exercidas ou os produtos, materiais e equipamentos que contém não envolvam riscos agravados de incêndio;
<b>B</b>	Local acessível ao público ou ao pessoal afeto ao estabelecimento, com um efetivo superior a 100 pessoas ou um efetivo de público superior a 50 pessoas, no qual se verifiquem simultaneamente as seguintes condições: i) Mais de 90% dos ocupantes não se encontrem limitados na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reação a um alarme; ii) A atividades nele exercidas ou os produtos, materiais e equipamentos que contém não envolvam risco agravados de incendio;
<b>C</b>	Local que apresentam riscos agravados de exclusão e desenvolvimentos de incêndios, devido quer as atividades nele desenvolvido, quer as características dos produtos, materiais ou equipamentos neles existentes, designadamente à carga de incendio
<b>D</b>	Local de um estabelecimento com permanência de pessoas acamadas ou destinados a receber crianças com idade não superior a 6 ano ou pessoas limitadas na mobilidade ou na capacidade de percepção e reação a um alarme.
<b>E</b>	Local de um estabelecimento destinado a dormida, em que as pessoas não apresentem as limitações indicadas nos locais de risco D;
<b>F</b>	Local que possua meios e sistemas essenciais à continuidade de atividades sociais relevantes, nomeadamente os centros nevrálgicos de comunicação, comando e controlo.

#### 4.4.1.3 Categorias de risco

O presente regime jurídico classificada as utilizações-tipo em quatro níveis de risco de incêndio, ou seja, classifica em 1º, 2º, 3º ou 4º categoria correspondendo a risco reduzido, risco moderado, risco elevado e risco muito elevado, respetivamente. As categorias de riscos são atribuídas em função da utilização-tipo e da combinação dos seguintes fatores:

- Altura da UT;
- Efetivo;
- Efetivo em locais de risco do tipo D ou E;
- Área bruta;

- Número de pisos abaixo do plano de referência;
- Espaço coberto ou ao ar livre;
- Saída independente dos locais de risco do tipo D ou E;
- Densidade de carga de incêndio modificada.

No anexo III do decreto-lei 220/2008 é possível consultar os quadros relativos às categorias de risco de cada utilização-tipo, contudo só são apresentados aqueles que têm utilização na realização da presente dissertação. Nos dois quadros seguintes é possível consultar os fatores de risco para a determinação das respectivas categorias para a UT I (habitação) e UT VIII (comerciais e gares de transporte).

Quadro 4.17 – Categorias de risco da utilização - tipo I “habitação” (RJ-SCIE, 2008)

Categoria	Critérios referentes à utilização-tipo I	
	Altura da UT I	Número de pisos ocupados pela UT I abaixo do plano de referência
1.º.....	≤ 9 m	≤ 1
2.º.....	≤ 28 m	≤ 3
3.º.....	≤ 50 m	≤ 5
4.º.....	> 50 m	> 5

Quadro 4.18 – Categorias de risco da utilização-tipo VIII “comerciais e gares de transporte” (RJ-SCIE, 2008)

Categoria	Critérios referentes à utilização-tipo VIII		
	Altura da UT VIII	Número de pisos ocupados pela UT VIII abaixo do plano de referência	Efetivo da UT VIII
1.º.....	≤ 9 m	0	≤ 100
2.º.....	≤ 28 m	≤ 1	≤ 1000
3.º.....	≤ 28 m	≤ 2	≤ 5000
4.º.....	> 28 m	> 2	> 5000

#### 4.4.1.4 Classes de reação ao fogo

Reação ao fogo é o comportamento de um produto ou material, que devido à sua composição contribui para o início e o desenvolvimento do incêndio e para a libertação de fumos ou gases tóxicos durante a sua ocorrência, avaliada com base em ensaios normalizados (Campeão, 2012). Por outras palavras, serve para verificar de que forma pode um material

contribuir para a deflagração e desenvolvimento de um incêndio, caracterizando essencialmente, a combustão e a maior ou menor inflamabilidade de um material (Lopes, 2005).

O conceito de reação ao fogo inclui parâmetros importantes para a classificação de cada material de construção e encontram-se no quadro que se apresenta de seguida.

Quadro 4.19 – Parâmetros para a classificação da reação ao fogo de materiais de construção (RJ-SCIE, 2008)

<b>Simbologia da classificação da reação ao fogo</b>	
T	Aumento de temperatura [°C]
$\Delta m$	Perda de massa [%]
$t_f$	Tempo de presença de chama “duração das chamas persistentes” [s]
PCS	Poder calorífico superior [ $\text{MJkg}^{-1}$ , $\text{MJkg}^{-2}$ ou $\text{MJm}^{-2}$ ]
FIBRA	Taxa de propagação do fogo [ $\text{Ws}^{-1}$ ]
$\text{THR}_{600s}$	Calor Total libertado em 600s [MJ]
LFS	Propagação lateral das chamas “comparado com o bordo da amostra” [m]
SMOGRA	Taxa de propagação do fumo [ $\text{m}^2\text{s}^{-2}$ ]
$\text{TSF}_{600s}$	Produção total de fumo em 600s [ $\text{m}^2$ ]
$F_s$	Propagação das chamas [mm]
Libertação de gotículas ou partículas incandescentes	
Fluxo crítico	Fluxo radiante correspondente à extensão máxima da chama “só para pavimentos”

Antes da entrada em vigor do presente regulamento a classificação da reação ao fogo dos materiais de construção era dada por 5 categorias, M0, M1, M2, M3, M4, onde o número de denominação de cada categoria designa a maior ou menor propensão para desencadear o desenvolvimento de um fogo.

As categorias de M0 a M4 podem ser definidas como (Lopes, 2005):

- M0 – não combustível (pedras naturais, metais, betões, argamassas, cerâmicos, vidros);
- M1 – Combustível, mas não inflamável (derivados da madeira, pintados ou envernizados, com produtos intumescentes em ambas as faces,  $e=5\text{mm}$ );
- M2 – Combustível e dificilmente inflamável (derivados da madeira ignífugos na massa,  $e=16\text{mm}$ );

- o M3 – Combustível e moderadamente inflamável (Madeira maciça não resinosa com  $e=14\text{mm}$  ou madeira maciça resinosa com  $e=18\text{mm}$ );
- o M4 – Combustível e facilmente inflamável (Madeira maciça resinosa com  $e=14\text{mm}$ ).

A entrada em vigor do presente regulamento serviu para a adaptação e harmonização das classes de reação ao fogo dos produtos de construção nos países da união europeia. Esta nova classificação está representada por outra nomenclatura e separa as classes de reação ao fogo dos pavimentos e respetivos revestimentos dos restantes materiais. Como a presente dissertação apresenta como estudo os pavimentos só serão apresentadas as classes de reação ao fogo para produtos de construção de pavimentos incluindo os seus revestimentos.

Quadro 4.20 – Classes de reação ao fogo para produtos de construção de pavimentos, incluindo os seus revestimentos (R.J-SCIE, 2008)

Classe	Fatores de classificação	Classificação complementar
A <sub>1FL</sub>	T; $\Delta m$ ; $t_f$ e PCF	
A <sub>2FL</sub>	T; $\Delta m$ ; $t_f$ ; PCF e fluxo crítico	Produção de fumo «s1 ou s2»
B <sub>FL</sub>	Fluxo crítico e $F_s$	Produção de fumo «s1 ou s2»
C <sub>FL</sub>	Fluxo crítico e $F_s$	Produção de fumo «s1 ou s2»
D <sub>FL</sub>	Fluxo crítico e $F_s$	Produção de fumo «s1 ou s2»
E <sub>FL</sub>	$F_s$	
F <sub>FL</sub>	Desempenho não determinado.	

No quadro seguinte são apresentadas as equivalências entre as especificações do LNEC e as do sistema europeu destinados a pavimentos e aos seus respetivos revestimentos.

Quadro 4.21 – Equivalências entre as especificações do LNEC e as do sistema Europeu para a classificação de reação ao fogo (R.J-SCIE, 2008)

Classificação de acordo com as especificações do LNEC	Euro Classes
M0	A <sub>1FL</sub> A <sub>2FL</sub>
M1	A <sub>2FL</sub> B <sub>FL</sub>
M2	C <sub>FL</sub>
M3	D <sub>FL</sub>
M4	E <sub>FL</sub>
Sem classificação	F <sub>FL</sub>

#### 4.4.1.5 Classes de resistência ao fogo

Resistência ao fogo é a capacidade de um elemento de construção conservar durante um determinado período de tempo a estabilidade, a estanquidade, isolamento térmico, a resistência mecânica e qualquer outra função específica, quando sujeito ao aquecimento proveniente do incêndio (Campeão, 2012). A resistência ao fogo da madeira exprime-se então, em traços gerais, como sendo a capacidade, medida numa escala temporal, para resistir à atuação do fogo plenamente desenvolvido, sem a ocorrência do colapso da estrutura.

Os elementos de construção devem atender a certos requisitos, cumprindo com uma ou várias das seguintes condições:

- 1º Estanquidade / Capacidade de suporte;
- 2º Ausência de emissão de gases inflamáveis pela face não exposta ao fogo;
- 3º Estanquidade à passagem de chamas e gases quentes;
- 4º Resistência térmica suficiente para impedir que na face não exposta se alcancem

temperaturas superiores às estabelecidas pelo regulamento.

A classificação da resistência ao fogo antes da entrada do presente decreto-lei era feita segundo três critérios: estável ao fogo (EF); pára-chamas (PC) e corta-fogo (CF). Eram atribuídos aos elementos de construção consoante os requisitos descritos em cima, considerando que (Anastácio, 2010):

- Estável ao fogo (EF): deveriam cumprir a 1º condição;
- Pára-chamas (PC): deveriam cumprir as condições: 1º, 2º e 3º;
- Corta-fogo (CF): deveriam cumprir com todas as condições.

Com a entrada em vigor da nova regulamentação de segurança contra incêndios em edifícios (Decreto-Lei n.º 220/2008), a classificação da resistência ao fogo dos produtos de construção atende a novas exigências que serão apresentadas mais à frente (subcapítulo 4.4.2). Para uma melhor compreensão da classificação de desempenho de resistência ao fogo dos produtos de construção é necessário conhecer os fatores de que depende essa classificação. Os novos fatores encontra-se descritos no quadro que se apresenta de seguida.

Quadro 4.22 – Designação dos parâmetros de resistência ao fogo dos produtos de construção (RJ-SCIE, 2008)

<b>Parâmetros</b>	<b>Designação</b>
<b>R</b>	Capacidade de suporte de carga
<b>E</b>	Estanquidade a chamas e gases quentes
<b>I</b>	Isolamento térmico
<b>W</b>	Radiação
<b>M</b>	Ação mecânica
<b>C</b>	Fecho automático
<b>S</b>	Passagem de fumo
<b>P ou PH</b>	Continuidade de fornecimento de energia e/ou de sinal
<b>G</b>	Resistência ao fogo
<b>K</b>	Capacidade de proteção contra o fogo

O quadro que se apresenta de seguida visa conciliar a nomenclatura usada antes da entrada em vigor da nova regulamentação com a que atualmente é utilizada, de acordo com as euroclasses.

Quadro 4.23 – Equivalência entre as especificações do LNEC e o Sistema Europeu para a classificação de resistência ao fogo (RJ-SCIE, 2008)

<b>Função do elemento</b>	<b>Classificação de acordo com as especificações do LNEC</b>	<b>Classificação segundo o sistema europeu</b>
Suporte de cargas	EF	R
Suporte de cargas e estanquidade a chamas e gases quentes	PC	RE
Suporte de cargas, estanquidade a chamas e gases quentes e isolamento térmico	CF	REI
Estanquidade a chamas e gases quentes	PC	E
Estanquidade a chamas e gases quentes e isolamento térmico	CF	EI

#### 4.4.2 REGULAMENTO TÉCNICO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS EM EDIFÍCIOS

A Portaria n.º 1532/2008 de 29 de Dezembro veio aprovar o Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RT-SCIE). O RT-SCIE encontra-se dividido em oito títulos (309.º artigos) e um anexo.

- Título I – Objeto e definições
- Título II – Condições exteriores comuns
- Título III – Condições gerais de comportamento ao fogo, isolamento e proteção
- Título IV – Condições gerais de evacuação
- Título V – Condições gerais das instalações técnicas
- Título VI – Condições gerais dos equipamentos e sistemas de segurança
- Título VII – Condições gerais de autoproteção
- Título VIII – Condições específicas das utilizações-tipo
- Anexo I – Definições

No título I é apresentado o objetivo assim como se remetem às definições necessárias para o único anexo da portaria.

Do título II ao título VII podem ser consultadas as condições técnicas gerais e específicas referentes à segurança contra incêndios em edifícios, referidas no artigo 15.º do RJ-SCIE.

Por último, no título VIII são apresentadas as condições gerais de determinadas utilizações-tipo, excluindo-se a UT III e a UT IV.

A presente portaria tem por objetivo a regulamentação técnica das condições de segurança contra incêndio a aplicar em função do risco de incêndio dos edifícios e recintos, classificados em UT's e categorias de risco (RT-SCIE, 2008).

Após uma análise ao regulamento técnico, vão apenas ser descritos, os aspetos com maior relevância para a realização da presente dissertação.

#### **4.4.2.1 Resistência ao fogo de elementos estruturais e incorporados**

Os elementos estruturais de edifícios, consoante o seu tipo, devem possuir uma resistência ao fogo que garanta as suas funções de suporte de cargas, de isolamento térmico e de estanquidade durante todas as fases de combate ao incêndio, ou seja, devem possuir a resistência ao fogo padrão mínima que é indicada no quadro que se apresenta de seguida (RT-SCIE, 2008).

Quadro 4.24 – Resistência ao fogo mínima de elementos estruturais de edifícios (RT-SCIE, 2008)

Utilizações Tipo	Categorias de risco				Função do elemento estrutural
	1.º	2.º	3.º	4.º	
I, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X	R 30	R 60	R 90	R 120	Apenas Suporte
	REI 30	REI 60	REI 90	REI 120	Suporte e compartimentação
II, XI, XII	R 60	R 90	R 120	R 180	Apenas Suporte
	REI 60	REI 90	REI 120	REI 180	Suporte e compartimentação

#### 4.4.2.2 Reação ao fogo mínima dos revestimentos

O RT-SCIE define as classes mínimas de reação ao fogo dos materiais de revestimento de pavimentos de locais de risco A, B, C, D, E e F. Estas classes podem ser consultadas no quadro 4.26.

Quadro 4.25 – Reação ao fogo mínima dos revestimentos (RT-SCIE, 2008)

Elemento	Locais de risco			
	A	B	C	D, E e F
Paredes e tetos	D-s2 d2	A2-s1 d0	A1	A1
Pavimentos	EFL-s2	CFL-s2	A1FL	CFL-s2

Estão isentos da aplicação destas medidas, os espaços da utilização-tipo I, classificados na primeira categoria de risco.

#### 4.4.3 MÉTODOS DE CÁLCULO PREVISTOS NO EUROCÓDIGO 5

Nas estruturas de madeira é fundamental a verificação da resistência ao fogo na sua conceção e dimensionamento, devido à madeira ser considerado um material combustível. O documento legal que rege a verificação da resistência ao fogo de estruturas de madeira é o Eurocódigo 5, Parte 1-2 e apresenta como principal objetivo a redução dos riscos para as pessoas e bens em caso de incêndio. Com isto, os edifícios deverão ser dimensionados e construídos de forma a manter a estabilidade da estrutura durante um período de tempo, limitar a ignição e o desenvolvimento do fogo e a geração de fumo, ter em consideração a segurança das equipas de salvamento e a segurança dos ocupantes aquando do abandono do edifício.

Através do EC5:1-2 (EC5:Parte1-2, 2004) são apresentados, para o cálculo da resistência ao fogo, métodos simplificados, que se destinam a ser utilizados na prática corrente do projeto,

e métodos avançados, recorrendo a modelos de cálculo mais complexos e normalmente utilizados em situações excecionais. Para a realização dos cálculos dos métodos apresentados recorre-se às ações definidas no Eurocódigo 1, Parte 1-2.

#### 4.4.3.1 Valores de cálculo das propriedades dos materiais e resistências

Os valores de cálculo das propriedades e resistências das madeiras a utilizar são obtidos através das expressões definidas no EC 5:1-2.

**Para verificação das propriedades mecânicas da madeira:**

$$f_{d,fi} = K_{mod,fi} \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} \quad (4.50)$$

$$E_{d,fi} = K_{mod,fi} \frac{E_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} \quad (4.51)$$

Em que,

$f_{d,fi}$  – Resistência de cálculo da madeira sob a ação do fogo;

$E_{d,fi}$  – Módulo de elasticidade de cálculo da madeira;

$f_{0,2}$  – Percentil de 20% da resistência de cálculo da madeira;

$E_{0,2}$  – Percentil de 20% do módulo de elasticidade de cálculo da madeira;

$\gamma_{M,fi}$  – Coeficiente parcial de segurança para madeiras sob a ação do fogo. (Normalmente considera-se igual a 1);

$K_{mod,fi}$  – Fator de correção para a situação de incêndio.

**Resistência mecânica de um elemento:**

$$R_{d,fi} = \eta \frac{R_{0,2}}{\gamma_{M,fi}} \quad (4.52)$$

$R_{d,fi}$  - Resistência do cálculo do elemento sob a ação do fogo;

$R_{0,2}$  - Percentil de 20% da resistência de cálculo do elemento à temperatura normal sem considerar o efeito do teor de água e o efeito de duração das ações ( $K_{mod} = 1$ );

$\eta$  - Coeficiente de conversão, (valor recomendado 0,6).

Obtenção dos percentis de 20% a partir dos valores característicos:

$$f_{0,2} = k_{fi} \cdot f_k \quad (4.53)$$

$$E_{0,2} = k_{fi} \cdot E_{0,05} \quad (4.54)$$

$$R_{0,2} = k_{fi} \cdot R_k \quad (4.55)$$

Os valores de  $k_{fi}$  são obtidos através do quadro que se apresenta de seguida.

Quadro 4.26 – Valores de  $k_{fi}$  (EC5:Parte1-2, 2004)

	$k_{fi}$
Madeira maciça	1,25
Madeira lamelada colada	1,15
Painéis de madeira	1,15
LVL	1,1

#### 4.4.3.2 Métodos Simplificados

A verificação da resistência ao fogo, nos métodos simplificados, é realizada através da redução da secção de madeira carbonizada. Consiste em comparar esta secção reduzida com as ações de cálculo para a situação de incêndio. O cálculo da secção não consumida pelo incêndio é realizado retirando à secção transversal inicial a profundidade de madeira carbonizada. Esta redução é determinada com base no conceito de taxa de carbonização, que permite determinar a profundidade de madeira consumida pela fogo e, conseqüentemente, a secção residual efetiva com capacidade resistente praticamente intacta. As taxas de carbonização definidas, são constantes no tempo e variam entre os 0,5 e os 1,0 mm/min, dependendo do tipo de madeira em estudo.

O EC5:1-2 (EC5:Parte1-2, 2004) utiliza dois tipos de profundidade de carbonização: a unidimensional,  $d_{char,0}$ , e a nominal,  $d_{char,n}$ , como se apresenta na figura seguinte.

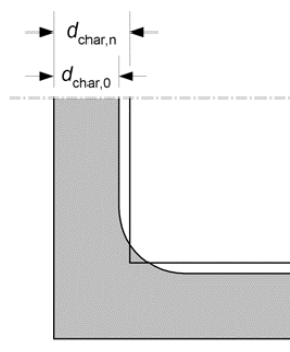


Figura 4.8 – Profundidades de carbonização (EC5:Parte1-2, 2004)

A profundidade de carbonização unidimensional pode ser obtida através da seguinte expressão:

$$d_{char,0} = \beta_0 \cdot t \quad (4.56)$$

Em que  $t$ , representa o tempo relevante de exposição ao fogo e  $\beta_0$ , representa a taxa de carbonização unidimensional. A utilização desta taxa implica que deve ser considerada a degradação da madeira nos cantos das secções, aproximando-se assim a forma da secção residual da forma real das secções após o incêndio. O raio do arredondamento dos cantos deve ser considerado igual à espessura da camada carbonizada.

A utilização da profundidade de carbonização unidimensional pressupõe que a secção tenha uma dimensão mínima para garantir que o arredondamento dos cantos é considerado separadamente em lados estreitos. As dimensões mínimas são apresentadas nas fórmulas seguintes.

$$b_{min} = 2 \cdot d_{char,0} + 80 \quad \text{para } d_{char,0} = 13mm \quad (4.57)$$

$$b_{min} = 8,15 \cdot d_{char,0} \quad \text{para } d_{char,0} < 13mm \quad (4.58)$$

Em alternativa, pode-se utilizar uma profundidade de carbonização nominal,  $d_{char,n}$ , que considera que a secção se mantém com forma igual à inicial. Esta pode ser obtida através da seguinte expressão:

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t \quad (4.59)$$

Em que  $t$ , representa o tempo relevante de exposição ao fogo e  $\beta_n$ , representa a taxa de carbonização nominal. Esta taxa, além de ser superior à taxa unidimensional, já inclui o arredondamento dos cantos e fissuras.

As taxas de carbonização para efeitos de cálculo podem ser consultadas no quadro 4.27.

Quadro 4.27 – Taxas de carbonização (EC5:Parte1-2, 2004)

	$\beta_0$ (mm/min)	$\beta_n$ (mm/min)
a) Madeiras Resinosas e Faia		
Madeira lamelada colada com uma densidade $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Madeira maciça com uma densidade $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
b) Madeiras folhosas		
Madeira maciça ou lamelada colada com uma densidade de $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Madeira maciça ou madeira lamelada colada com uma densidade $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,5	0,55
c) LVL com uma densidade $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
d) Painéis		
Painéis de madeira	0,9	-
Contraplacado	1,0	-
Painéis de madeira sem ser contraplacado	0,9	-

#### 4.4.3.2.1 Método da secção reduzida

O método da secção reduzida para o cálculo da secção transversal efetiva, admite que esta, apresenta propriedades de resistência constantes e iguais às da madeira à temperatura ambiente. Para este método o valor de  $k_{mod,fi}$ , toma o valor de 1.

A secção efetiva deve ser calculada reduzindo a secção inicial com a espessura efetiva da camada de carbonização,  $d_{ef}$ , tal como se apresenta na figura seguinte.

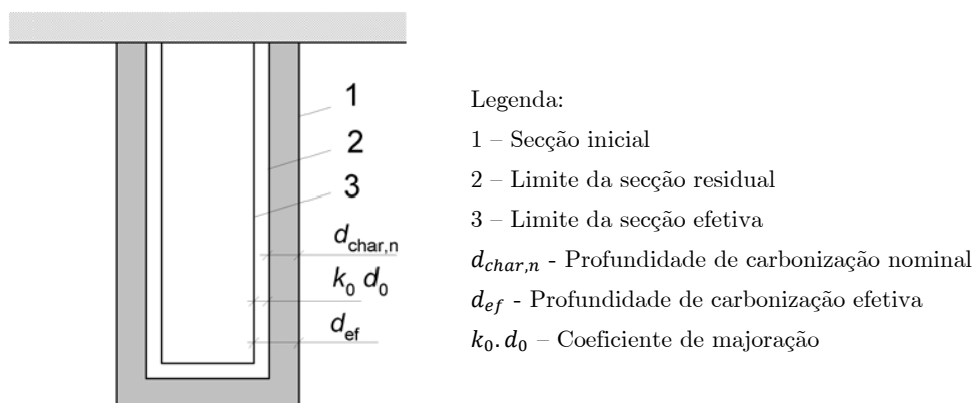


Figura 4.9 – Esquema para o cálculo da profundidade da secção efetiva (EC5:Parte1-2, 2004)

O cálculo da profundidade de carbonização efetiva, apresentado na fórmula seguinte, é realizado considerando a profundidade de carbonização nominal,  $d_{char,n}$ , acrescida de um fator de majoração,  $k_0 \cdot d_0$ .

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 \quad (4.60)$$

Os valores para o cálculo de  $k_0$ , para o caso de secções desprotegidas, são apresentados na tabela seguinte e  $d_0$  é considerado igual a 7mm.

Quadro 4.28 – Valores para o cálculo de  $k_0$  (EC5:Parte1-2, 2004)

	$k_0$
$t < 20$ minutos	$t/20$
$t \geq 20$ minutos	1,0

#### 4.4.3.2.2 Método da redução de propriedades

O método de cálculo da redução de propriedades, assume que a secção efetiva de madeira tem propriedades de resistência inferiores às da temperatura ambiente. Com isto, o valor da resistência deverá ser obtido utilizando um fator de correção para a situação de incêndio em

estudo,  $k_{mod,fi}$ , sendo apresentada a sua expressão de cálculo na fórmula seguinte, quando o  $t = 20$  minutos. Este método aplica-se a secções transversais retangulares de madeiras resinosas expostas ao fogo em 3 ou 4 lados e a secções redondas expostas em todo o perímetro.

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1 \cdot p_v}{k_{s,fi} \cdot A_r} \quad (4.61)$$

Em que,  $A_r$  e  $p_v$  são, respetivamente, a área da secção residual e o perímetro da secção residual, utilizando a unidade do sistema internacional, o metro. Esta secção obtém-se eliminando da secção inicial a profundidade de carbonização unidimensional ou nominal de acordo com as respetivas condições de aplicação. O parâmetro  $k_{s,fi}$ , toma o valor de 330 para resistência à tração e módulo de elasticidade, de 200 para resistência à flexão e de 125 para a compressão.

Para  $t = 0$  min, o  $k_{mod,fi} = 1$ , e para quando  $0 < t < 20$  o coeficiente  $k_{mod,fi}$  deve ser obtido por interpolação entre os valores anteriores.

#### 4.4.3.3 Método avançado de cálculo

O método avançado de cálculo pode ser aplicado em membros individuais, partes de uma estrutura ou em estruturas completas. Pode ser usado para determinação da profundidade de carbonização, para o desenvolvimento e distribuição da temperatura dentro de elementos estruturais (modelo de resposta térmica) e para a avaliação do comportamento estrutural (modelo de resposta estrutural).

Devem ser tidos em conta, efeitos como a transferência de massa dentro da estrutura (movimentos de água), energia libertada na madeira pela sua pirólise ou degradação e a fendilhação da camada carbonizada, que aumenta a sua transferência de calor. Contudo, o EC5:1-2 (EC5:Parte1-2, 2004) permite que estes efeitos sejam considerados utilizando propriedades dos materiais que de forma equivalente os traduzem.

Este modelo de cálculo avançado recorre à consulta e comparação de diferentes quadros tornando a análise qualitativa e complexa. Como não é aplicável à presente dissertação não será abordado.

## 5 QUARTEIRÃO DAS CARDOSAS – CASO DE ESTUDO

### 5.1 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

O edifício que mais tarde ficaria conhecido com o Palácio das Cardosas começou por ser um convento, mandado construir pelos padres Lóios, no século XV. O edifício ficou inacabado e nos finais do séc. XVIII, não correspondia nem à riqueza e necessidade dos padres, nem ao número e quantidade de devotos que o frequentavam. Era o convento mais bem dotado da cidade mas também o mais pequeno e velho (figura 5.1).



Figura 5.1 – Área do Quarteirão, 1794 (Lucios, 2012)

Os padres Lóios decidiram então modificar a frontaria do convento, que dava para a Rua da Natividade – hoje Praça da Liberdade -, acrescentando-lhe duas pequenas torres. A frontaria que começaram a edificar era majestosa, mas infelizmente não chegaram a vê-la ganhar vida. Tinha chegado a hora da liberdade, igualdade e fraternidade e, em nome destes princípios, os padres foram violentamente despojados dos bens que legitimamente lhes pertenciam. Após o saque, os religiosos fugiram do país, e o Mosteiro Novo de S. Maria da Consolação passou para a posse da Câmara que rapidamente o colocou à venda. O seu comprador foi Manuel Cardoso dos Santos, um negociante que volta com uma fortuna do Brasil e que se compromete a acabar a fachada iniciada pelos padres. Começava aqui a história do Palácio das Cardosas com origem nas figuras da mulher e da filha do rico comerciante. Diz-se que as duas senhoras não eram muito bonitas e que passavam muito tempo à janela, a ver e a comentar quem passava. Por esse motivo, o passeio em frente ao edifício foi batizado como o “Passeio das Cardosas”(figura 5.2) e o nome acabou por se alastrar a todo o Quarteirão.



Figura 5.2 – Passeio das Cardosas, 1910 (Lucios, 2012)

Com o desenvolvimento económico, social e cultural que, na segunda metade do séc. XIX, transformou a Baixa Portuense em coração da cidade, o Quarteirão das Cardosas passou a corresponder a uma espécie de território de transição entre os limites ainda mediavais do Centro histórico e a nova centralidade urbana novecentista.

Atualmente encontra-se abrangido pela área correspondente ao Centro Histórico do Porto, classificado pela UNESCO, em 5 de Dezembro de 1996, como Património Mundial. Insere-se na Área Crítica de Recuperação e Reconservação Urbanística (ACRRU) da Baixa Portuense, aprovada em 1994, e situa-se na zona classificada como Conjunto de interesse Público, em 1997, e Monumento nacional em 2001. O seu programa de reabilitação depende da PORTOVIVO, SRU e, nos planos nacional e internacional, está sujeito a diretivas do IGESPAR (Instituto de Gestão do Património Arquitetónico e Arqueológico) e do ICOMOS (Instituto para a Conservação de Monumentos e Sítios).

O quarteirão (figura 5.3) é composto por construções que vão do século XVI ao século XX e é delimitado a Norte pela Praça da Liberdade, a Nascente pela praça Almeida Garrett, a Poente pelo largo dos Lóios e pela Rua Trindade Coelho e por fim a Sul pela Rua das Flores, onde se encontram as frações em estudo da presente dissertação.



Figura 5.3 – Quarteirão das Cardosas – vista aérea (Lucios, 2012)

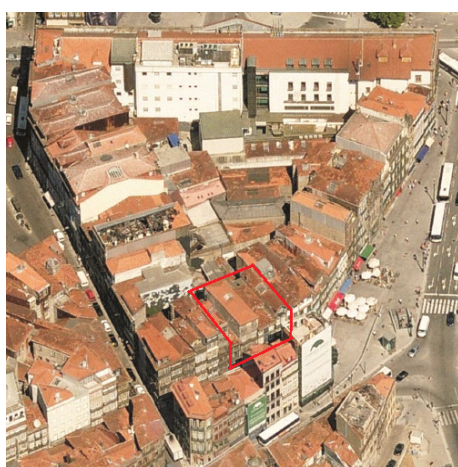
Desde cedo, a Rua das Flores apareceu repartida por duas vocações: no seu lado sul, residencial, com grandes habitações aristocráticas, e do lado norte (onde se integra no Quarteirão das Cardosas) muito mais comercial, com particular relevância para os negócios de ourives. Do comércio local faziam ainda parte lojas de tecidos, louçarias e de mercadorias variadas. Nesta parcela comercial, destacava-se, a nível arquitetónico, a típica Casa Burguesa do Porto, alta e esguia, pertencente aos comerciantes com as lojas no rés-do-chão e as residências nos andares superiores (Lucios, 2012).



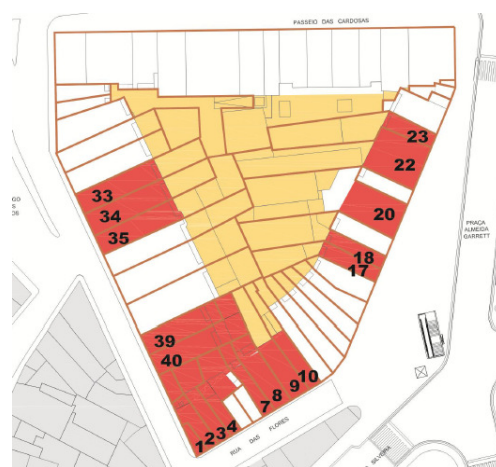
Figura 5.4 – Rua das Flores, vista da Praça Almeida Garrett, início séc. XX (Lucios, 2012)

## 5.2 DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO E DA INTERVENÇÃO

O caso em estudo da presente dissertação assenta na análise dos pavimentos de madeira a serem construídos nos edifícios 7, 8, 9 e 10 inseridos no Quarteirão das Cardosas. A fachada principal encontra-se virada para a Rua das Flores e a fachada das traseiras para o interior da Praça (figura 5.5).



a) Foto aérea



b) Planta

Figura 5.5 – Edifícios 7, 8, 9 e 10, Quarteirão das Cardosas (Lucios, 2012)

Como pode ser verificado na figura 5.5: a) o interior do quarteirão encontrava-se massivamente ocupado com anexos e construções secundárias em desuso e em mau estado de conservação. A criação de um espaço aberto no interior do quarteirão foi a solução, que para além de resolver o problema estético e de segurança, visou potenciar os espaços comerciais e dotar as edificações de estacionamento. Para o acesso de peões e de automóveis ao novo espaço, como se pode ver na figura 5.6, houve necessidade de demolir algumas fachadas para alinhar o tardoz e em alguns casos houve demolição de todo o edifício.



Figura 5.6 – Esquema de circulações da Nova Praça (Lucios, 2012)

Nos edifícios em estudo, ocorreu a demolição das fachadas viradas para o interior da praça reaproveitando algumas paredes de meação existentes para a reconstrução do novo edifício. Na figura seguinte é possível observar a contenção da fachada principal e as demolições da parte interior.



a) Contenção da fachada principal



b) Demolições no interior dos edifícios

Figura 5.7 – Trabalhos iniciais nos edifícios 7, 8, 9 e 10 (Lucios, 2012)

Com o objetivo de dotar o Quarteirão das Cardosas com funções residenciais mais apropriadas e melhor dimensionadas, foram criadas agregações de parcelas para tornar os acessos horizontais e verticais independentes das atividades localizadas no rés-do-chão e, também, oferecer espaços comerciais com áreas maiores. Com esta agregação, os edifícios 7, 8, 9 e 10 passaram a designar-se por parcela C4.

A parcela C4, após as demolições do seu interior, foi reconstruída com estrutura de betão para a caixa-de-escadas, e estrutura de madeira em todos os pavimentos. As coberturas foram reconstruídas, também em madeira e com telha igual à existente. As caixilharias de madeira existentes foram recuperadas e pintadas de branco, e as novas caixilharias das novas fachadas foram escolhidas também em madeira pintada de branco com vidro duplo. As guardas das varandas em ferro foram restauradas e pintadas de preto.

A fachada da Rua das Flores possui revestimentos variados, tendo a parcela 7 a fachada com granito, a parcela 8 com azulejo branco e azul, a parcela 9 e 10 com azulejo azul escuro. Esta fachada foi toda ela reabilitada. Nas fachadas posteriores foi construído um envasamento a granito ao nível do rés-do-chão e foram revestidas a azulejo amarelo claro. (figura 5.8)



a) Fachada principal (Rua das Flores)



b) Fachada posterior (Praça das Cardosas)

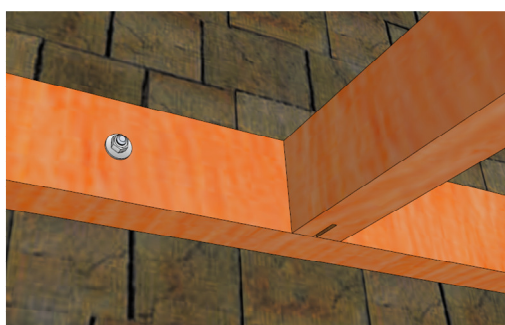
Figura 5.8 – Fachadas da parcela C4

A parcela C4 apresenta uma área de implantação de 252,7 m<sup>2</sup> e desenvolve-se em 5 pisos. O piso -1, com quatro lojas, encontra-se ao nível da Rua das Flores, mas enterrado em relação à cota da praça. No piso 0 (lado da praça) localiza-se a entrada para todas as habitações. Este piso conta também com duas lojas e dois apartamentos T0. No 1º e 2º piso desenvolvem-se dois apartamentos T0 e um T2, em cada um. Por fim, o 3º e último piso apresenta um T2+1 e um T0. No total a parcela C4 apresenta 10 fogos e 6 lojas.

As plantas do edifício encontram-se no Anexo I da presente dissertação para uma melhor interpretação e análise do edificado (Lucios, 2012).

### 5.3 PAVIMENTOS DA PARCELA C4

Todos os pavimentos da parcela C4 são em madeira, à exceção da laje de escadas, como já foi referido. A ligação entre o vigamento principal e as paredes foi feito através da colocação de vigas, iguais às principais, que funcionam como frechal. A fixação da viga periférica à parede foi executada através de um varão M12 com porca e anilha, como se pode verificar na figura 5.9. Para uma melhor fixação do varão à parede antiga de pedra, foi utilizada uma bucha química própria para o efeito.



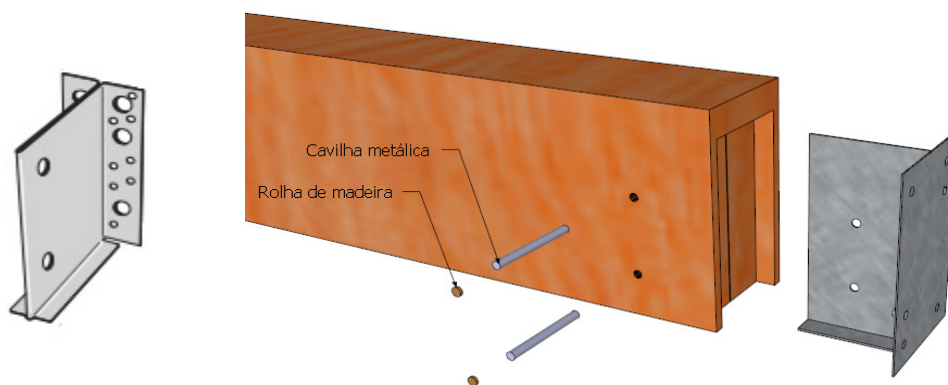
a) Desenho 3D da ligação (vista esquemática)



b) Foto em obra (vista inferior)

Figura 5.9 – Pormenor da ligação Viga periférica/ Fachada

A ligação do vigamento principal à viga periférica é realizado através de uma fixação oculta. Esta fixação, como se pode observar na figura 5.10 - a), é composta por uma ferragem tipo simpson pregada à viga periférica, com um varão de 12mm. Após a ferragem ser pregada à viga periférica é, através de encaixe unida à viga principal, com o auxílio de cavilhas metálicas, figura 5.10 - b). Posteriormente foram colocadas rolhas de madeira para melhorar o ponto de vista estético.



a) Ferragem para fixação oculta      b) Ligação da ferragem à viga principal

Figura 5.10 – Pormenor da ligação Viga periférica/ Viga principal

Estas ligações foram concebidas de maneira a não impedir os movimentos higrométricos da madeira e foram evitadas as disposições construtivas suscetíveis de introduzir tensões de tração perpendicular ao fio. Houve o cuidado em aplicar os elementos metálicos, em aço galvanizado, devido às características que a madeira apresenta.

O tipo de vigeamento principal concebido em projeto apresenta vigas de madeira lamelada colada, com secção de  $0,12 \times 0,22 \text{ (m}^2\text{)}$  e uma largura de influência (distância entre os centros de gravidade) de 0,60m.

Sobre as vigas, e com 2,0 cm de espessura, foram aplicadas placas de OSB que servem de base para a colocação dos restantes elementos. Seguidamente foi aplicada uma manta acústica da Danosa que se divide em duas camadas diferenciadas, figura 5.11.



**1 - 1ª camada: Camada de Polietileno + MAD 2**  
**2 - 2ª Camada: Lã de Rocha + MAD2**

Figura 5.11 – Manta acústica da Danosa (Lucios, 2012)

A primeira camada é formada por um polietileno reticular não-espumado e uma membrana acústica de 2 mm. A segunda camada, também constituída por uma membrana acústica de 2 mm, é constituída ainda por um painel absorvente de lã de rocha de elevada densidade.

Esta manta acústica foi aplicada somente na zona onde vão apoiar as vigas secundárias e tem como principais objetivos reduzir a vibração do pavimento e os sons de percussão.

Posteriormente foram aplicadas vigas secundárias, com secção 0,08 x 0,16 (m<sup>2</sup>) e afastamento de 0,45 m entre os respetivos centros de gravidade. Têm como objetivo auxiliar a colocação do soalho e “criar espaço” para a passagem de todas as tubagens necessárias ao bom funcionamento do edifício. Tal como as vigas principais, estas também são em madeira lamelada colada GL24.

O soalho aplicado é Sucupira com 2 cm de espessura, macheado nas quatro faces, com uma largura de 15 cm e comprimento máximo de 1,8 m. A sua fixação às vigas secundárias foi realizada com uma cola elástica tixotrópica para pavimentos de madeira da Sika, SikaBond T52. Esta, é adequada para pavimentos de madeira porque, como a sua colagem é elástica, absorve os ruídos refletidos.

Para revestimento do soalho foi aplicado um verniz da Bona Naturale com alta resistência ao desgaste, às raspaduras, arranhões e substâncias químicas de uso doméstico. Além de dar um bom acabamento do ponto de vista estético apresenta baixa reação ao fogo.

No espaçamento existente entre as vigas secundárias e o soalho foi aplicado um regranulado de cortiça com uma granulometria entre 2 e 14 mm, figura 5.12.



Figura 5.12 – Aplicação do granulado de cortiça entre as vigas secundárias (vista superior do pavimento)

Para o acabamento dos tetos foi aplicado um teto falso (figura 5.13). Este, é constituído por uma manta de lã de rocha, com 5cm de espessura, sobre placas de gesso laminado com 15

mm de espessura. As placas de gesso são formadas por duas lâminas de papel com gesso de alta qualidade no interior e reforçada com fibra de vidro para melhorar a reação ao fogo.

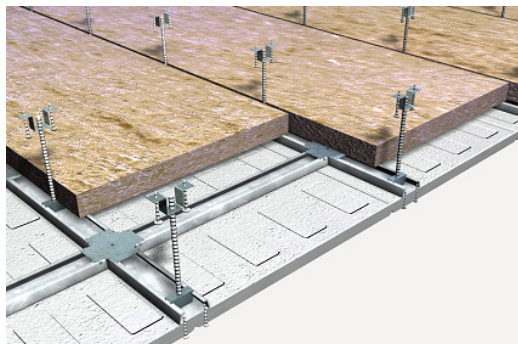
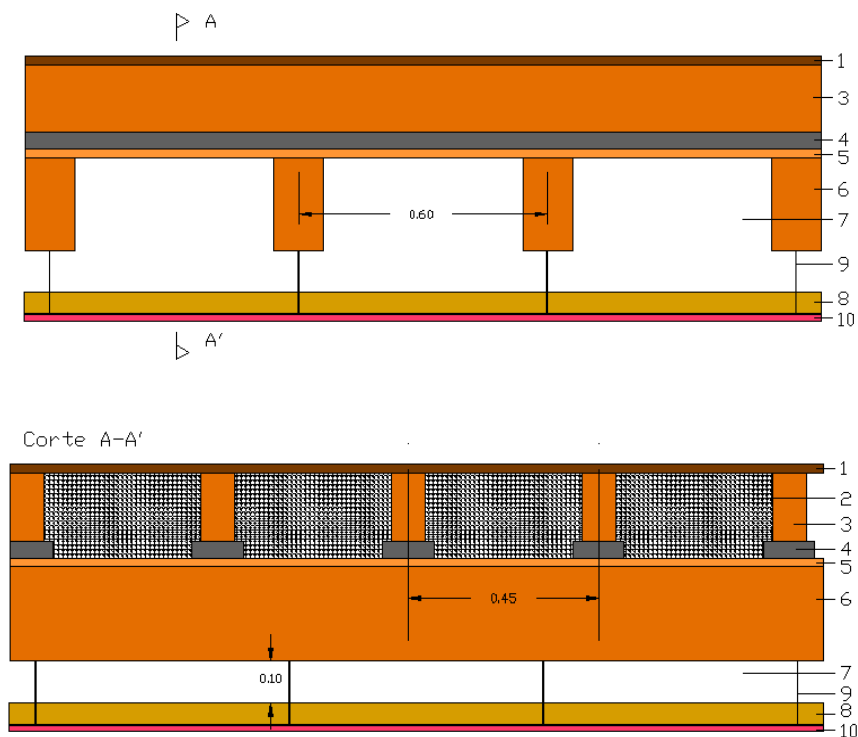


Figura 5.13 – Placas de gesso com lâ de rocha, e sistema de fixação às vigas GL24 (Gyptec, 2013)

Este pavimento, na presente dissertação, é designado por pavimento 1 e é possível observar as suas diferentes camadas na figura 5.14.



Legenda:

- 1 - Soalho - Sucupira:  $e=0,02m$
- 2 - Granulado cortiça: granulometris entre 2 e 14 mm
- 3 - Viga secundária:  $0,08 \times 0,16$  (mxm)
- 4 - Manta acústica da Danosa:  $e=0,04m$
- 5 - Placa de OSB:  $e=0,02m$
- 6 - Vigas principais:  $0,12 \times 0,22$  (mxm)
- 7 - Caixa-de-ar
- 8 - Lã de rocha:  $e=0,05m$
- 9 - Perfis para teto falso
- 10 - Placa de gesso laminada:  $e=0,15m$

Figura 5.14 – Desenho em corte do pavimento 1

O pavimento 1 é aplicado em todas as divisões do edifício à excepção das cozinhas, casas-de-banho e lavandarias. Nestas três divisões o pavimento apresenta as seguintes diferenças:

- As vigas secundárias apresentam uma secção mais pequena de  $0,8 \times 0,14$  ( $m^2$ );
- Seguidamente às vigas secundárias é aplicado um painel de viroc com 2 cm de espessura;
- Sobre o viroc foi aplicado mosaico cerâmico de grés da Land Evolution, também com 2 cm de espessura.

Pavimento 2, é a designação atribuída a este elemento horizontal.

## 5.4 VERIFICAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS

### 5.4.1 EXIGÊNCIAS ESTRUTURAIS

A verificação de segurança de pavimentos deverá ter em conta o estados-limite último adequado aos seus elementos, nomeadamente a verificação à flexão simples das tábuas de soalho, flexão simples com bambeamento das vigas principais e verificação ao corte das vigas.

Relativamente ao estado-limite de utilização, deverá ser sempre verificada a deformação dos pavimentos, assim como a vibração e satisfação das condições de conforto.

Para a verificação das exigências estruturais vai ser analisado o pavimento correspondente à sala do T0, no piso 0.

#### 5.4.1.1 Análise de dados

Para facilitar o cálculo vão ser atribuídos os valores para o peso próprio das paredes divisórias e para o peso próprio de todos os revestimentos:

- Peso próprio das paredes divisórias:  $P.P_{Par.div.} = 1 \text{ kN/m}^2$
- Peso próprio dos revestimentos:  $P.P_{Rev.} = 0,30 \text{ kN/m}^2$

##### 5.4.1.1.1 Caraterísticas dos materiais

- As principais caraterísticas do soalho aplicado na construção deste elemento horizontal, podem ser consultadas no quadro 5.1, apresentado de seguida.

Quadro 5.1 – Características do soalho Sucupira

<b>Soalho: Sucupira</b>		
Propriedades resistentes	Flexão	138 N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Propriedades de rigidez	Módulo de elasticidade	18 kN/mm <sup>2</sup> (GPa)
Massa volúmica		920 kg/m <sup>2</sup>
$k_{mod} = 0,80$		
$\gamma M = 1,3$ (quadro 4.5, página 79)		

- Segundo o quadro 4.2, página 73, a classe de serviço a utilizar é: Classe de serviço 2.
- O coeficiente parcial de segurança ( $\gamma M$ ) consultando o quadro 4.4 da página 79, para madeira lamelada colada, toma o valor de 1,25.
- As vigas secundárias e principais, tal como já foi referido, são em madeira lamelada colada com classe de resistência GL24. As características desta classe de resistência podem ser consultados no quadro 4.7, página 83.
- Os valores de  $k_{mod}$  e de  $k_{def}$ , são retirados dos quadros, 4.8 e 4.9, páginas 84 e 85 respectivamente, e correspondem:

$$k_{mod} = 0,80$$

$$k_{def} = 0,80$$

#### 5.4.1.1.2 Cálculo das cargas atuantes

##### **Cálculo do peso próprio do soalho:**

$P.P._{soalho} = \rho \times espessura$	
Massa volúmica ( $\rho$ )	920 kg/m <sup>2</sup> = 9.03 kN/m <sup>2</sup>
Espessura	0,02 m
$P.P._{soalho} = 0,18 \text{ kN/m}^2$	

##### **Cálculo do peso próprio das vigas secundárias:**

$P.P._{vigassecun} = \frac{\rho \times h}{l_{inf}}$	
Massa volúmica ( $\rho$ )	380 kg/m <sup>2</sup> = 3,73 kN/m <sup>2</sup>
Altura das vigas secundárias ( $h$ )	0,16 m
Largura de influência das vigas secundárias ( $l_{inf}$ )	0,45 m
$P.P._{vigassecun} = 1,33 \text{ kN/m}^2$	

**Cálculo do peso próprio das vigas principais:**

$P.P.vigas_{Princ} = \rho \times h \times b$	
Massa volúmica ( $\rho$ )	$380 \text{ kg/m}^2 = 3,73 \text{ kN/m}^2$
Altura ( $h$ )	$0,22 \text{ m}$
Base ( $b$ )	$0,12 \text{ m}$
$P.P.vigas_{Princ} = 0,10 \text{ kN/m}$	

**Cálculo da carga permanente na viga principal:**

$Carga_{vigas_{Princ}} = (P.P.Par.div. + P.P.Rev. + P.P.soalho + P.P.vigas_{Secun}) \times l_{inf} + P.P.vigas_{Princ}$	
Peso próprio das paredes divisórias ( $P.P.Par.div.$ )	$1,00 \text{ kN/m}^2$
Peso próprio dos revestimentos ( $P.P.Rev.$ )	$0,30 \text{ kN/m}^2$
Peso próprio do soalho ( $P.P.soalho$ )	$0,18 \text{ kN/m}^2$
Peso próprio das vigas secundárias ( $P.P.vigas_{Secun}$ )	$1,33 \text{ kN/m}^2$
Largura de influência das vigas principais ( $l_{inf}$ )	$0,60 \text{ m}$
Peso próprio das vigas principais ( $P.P.vigas_{Princ}$ )	$0,10 \text{ kN/m}$
$Carga_{vigas_{Princ}} = 1,79 \text{ kN/m}$	

**Cálculo da carga total atuante na viga principal:**

$P_{sd} = G \times \gamma_G + (Q \times l_{inf}) \times \gamma_Q$	
Carga permanente ( $G = Carga_{vigas_{Princ}}$ )	$1,79 \text{ kN/m}$
Coefficiente parcial relativo às ações permanentes ( $\gamma_G$ )	$1,35$
Sobrecarga em edifícios habitacionais ( $Q$ )	$2,00 \text{ kN/m}^2$
Largura de influência das vigas principais ( $l_{inf}$ )	$0,60 \text{ m}$
Coefficiente parcial relativo às ações variáveis ( $\gamma_Q$ )	$1,5$
$P_{sd} = 4,22 \text{ kN/m}$	

#### Cálculo do esforço transversor:

$V_{sd} = \frac{P_{sd} \times L}{2}$	
Carga atuante ( $P_{sd}$ )	4,22 kN/m
Vão do pavimento ( $L$ )	4,3 m
$V_{sd} = 9,07 \text{ kN}$	

#### Cálculo do momento:

$M_{sd} = \frac{P_{ed} \times L^2}{8}$	
Carga atuante ( $P_{sd}$ )	4,22 kN/m
Vão do pavimento ( $L$ )	4,3 m
$M_{sd} = 9,75 \text{ kN.m}$	

### 5.4.1.2 Estado-limite último

#### 5.4.1.2.1 Verificação à flexão

##### SOALHO

Para a verificação à flexão das tábuas de soalho é necessário considerar somente os esforços que se encontram aplicados sobre este. Apesar de este se encontrar encastrado em relação às vigas secundárias, para o cálculo, vai ser considerado que se encontra simplesmente apoiado devido ao facto de esta última opção ser a mais desfavorável.

Para a verificação da flexão nas tábuas de soalho é necessário cumprir com a seguinte expressão:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$

Seguidamente são apresentados os cálculos necessários a esta verificação.

### Cálculo da carga atuante no soalho:

$P_{sd} = (P \cdot P_{par.div.} + P \cdot P_{soalho}) \times \gamma_G + Q \times \gamma_Q$	
Peso próprio das paredes divisórias ( $P \cdot P_{par.div.}$ )	1,00 kN/m <sup>2</sup>
Peso próprio do soalho ( $P \cdot P_{soalho}$ )	0,18 kN/m <sup>2</sup>
Coefficiente parcial relativo às ações permanentes ( $\gamma_G$ )	1,35
Sobrecarga em edifícios habitacionais ( $Q$ )	2,00 kN/m <sup>2</sup>
Coefficiente parcial relativo às ações variáveis ( $\gamma_Q$ )	1,50
$P_{sd} = 4,59 \text{ kN/m}$	

### Cálculo do momento:

$M_{sd} = \frac{P_{sd} \times L^2}{8}$	
Carga atuante ( $P_{sd}$ )	4,59 kN/m
Distância entre apoios (vigas secundárias) ( $L$ )	0,45 m
$M_{sd} = 0,12 \text{ kN.m}$	

### Cálculo da tensão atuante de flexão:

$\sigma_{md} = \frac{M_{sd}}{I} \times Y_G$	
Momento ( $M_{sd}$ )	0,12 kN.m
Inércia do soalho ( $I$ )	$6,67 \times 10^{-7} \text{ m}^4$
Centro de gravidade ( $Y_G$ )	0,01 m
$\sigma_{md} = 1800 \text{ kPa} = 1,80 \text{ MPa}$	

### Cálculo do valor resistente à flexão:

$f_{md} = k_{mod} \times \frac{f_{mk}}{\gamma_M}$	
$k_{mod}$	0,80
Valor característico da resistência à flexão ( $f_{mk}$ )	138 MPa
coeficiente parcial de segurança ( $\gamma_M$ )	1,30 m
$f_{md} = 84,92 \text{ MPa}$	

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \Leftrightarrow 1,80 \text{ MPa} < 84,92 \text{ MPa}$$

Verifica à flexão.

## VIGAS

Tal como nas tábuas de soalho, para a verificação da flexão nas vigas principais, é necessário cumprir com a seguinte expressão:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$

Seguidamente são apresentados os cálculos necessários a esta verificação.

### Cálculo da tensão atuante de flexão:

$\sigma_{md} = \frac{M_{sd}}{I} \times Y_G$	
Momento ( $M_{sd}$ )	9,75 kN.m
Inércia da viga principal ( $I$ )	$1,06 \times 10^{-4} \text{ m}^4$
Centro de gravidade ( $Y_G$ )	0,11 m
$\sigma_{md} = 10072,31 \text{ kPa} = 10,07 \text{ MPa}$	

Como se trata de uma secção pequena é necessário ter em conta o efeito de volume.

### Cálculo do coeficiente de efeito de volume:

$k_h = \min\left\{\left(\frac{600}{h}\right)^{0,1}; 1,1\right\}, \text{ com } h < 600\text{mm}$	
Altura da viga principal ( $h$ )	220 mm
$k_h = 1,1$	

### Cálculo do valor resistente à flexão:

$f_{md} = k_{sys} \times k_h \times k_{mod} \times \frac{f_{mk}}{\gamma_M}$	
Fator de resistência do sistema ( $k_{sys}$ )	1,1
Coeficiente do efeito de volume ( $k_h$ )	1,1
$k_{mod}$	0,80
Valor característico da resistência à flexão ( $f_{mk}$ )	24 MPa
coeficiente parcial de segurança ( $\gamma_M$ )	1,25 m
$f_{md} = 18,59 \text{ MPa}$	

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \Leftrightarrow 10,07 \text{ MPa} < 18,59 \text{ MPa}$$

Verifica à flexão.

#### 5.4.1.2.2 Verificação à instabilidade

Para a verificação à instabilidade ou ao bambeamento é necessário ter em conta o fator que tem em conta a redução da resistência à flexão devido à encurvadura que possa existir ( $k_{crit}$ ). Para o cálculo deste coeficiente é necessário calcular o comprimento efetivo de bambeamento, a tensão crítica de flexão e o coeficiente de esbelteza relativo à flexão. Os cálculos necessários para a verificação ao bambeamento apresentam-se de seguida.

##### Cálculo do comprimento efetivo de bambeamento:

$l_{ef} = m \times l + 2 \times h$	
Parâmetro $m$ (quadro 4.10, página 93)	0,9 m
Vão do pavimento ( $l$ )	4,30 m
Altura da viga principal ( $h$ )	0,22 m
$l_{ef} = 4,31 m$	

##### Cálculo da tensão crítica de flexão:

$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \times b^2}{h \times l_{ef}} \times E_{0,05}$	
Largura da viga principal ( $b$ )	0,12 m
Altura da viga principal ( $h$ )	0,22 m
Comprimento efetivo de bambeamento ( $l_{ef}$ )	4,31 m
Módulo de elasticidade paralelo ao fio ( $E_{0,05}$ )	$9,4 \times 10^3 MPa$
$\sigma_{m,crit} = 111,35 MPa$	

##### Cálculo do coeficiente de esbelteza relativo à flexão:

$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$	
Valor característico da resistência à flexão ( $f_{mk}$ )	24 MPa
Tensão crítica de flexão ( $\sigma_{m,crit}$ )	111,35 MPa
$\lambda_{rel,m} = 0,46$	

**Cálculo do  $k_{crit}$ :**

$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{se } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{se } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,40 \\ 1/(\lambda_{rel,m})^2 & \text{se } \lambda_{rel,m} \geq 1,40 \end{cases}$	
$\lambda_{rel,m}$	0,46
$k_{crit} = 1$	

$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \Leftrightarrow 10,07 \text{ MPa} < 18,59 \text{ MPa}$	<b>Não há bambeamento.</b>
--	----------------------------

5.4.1.2.3 Verificação ao corte

Para a verificação ao corte das vigas principais é necessário cumprir com a seguinte condição:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

Apresentam-se de seguida os cálculos necessários a esta verificação, incluindo o cálculo da largura reduzida a ser considerada devido ao facto de a peça ser retangular e se encontrar sujeita à flexão.

**Cálculo da largura reduzida:**

$b_{ef} = k_{cr} \times b$	
$k_{cr}$	0,67
Largura da viga principal ( $b$ )	0,12 m
$b_{ef} = 0,08 \text{ m}$	

**Cálculo da tensão atuante de corte:**

$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_{sd}}{b_{ef} h}$	
Esforço transversal ( $V_{sd}$ )	9,07 kN
Largura reduzida ( $b_{ef}$ )	0,08 m
Altura da viga principal ( $h$ )	0,22 m
$\tau_d = 773.01 \text{ kPa} = 0,77 \text{ MPa}$	

### Cálculo da tensão resistente de corte:

$f_{vd} = k_{mod} \times \frac{f_{vk}}{\gamma M}$	
$k_{mod}$	0,80
Valor característico da resistência ao corte ( $f_{vk}$ )	2,7 MPa
coeficiente parcial de segurança ( $\gamma M$ )	1,25
$f_{vd} = 1,73 \text{ MPa}$	

$\tau_d \leq f_{v,d} \Leftrightarrow 0,585 \text{ MPa} < 1,73 \text{ MPa}$	<b>Verifica ao corte.</b>
--	---------------------------

### 5.4.1.3 Estado-limite de utilização

#### 5.4.1.3.1 Estado-limite de deformação

Para a verificação à deformação das vigas do pavimento ser cumprida é necessário verificar a deformação instantânea ( $\mu_{int}$ ) e a deformação final ( $\mu_{final}$ ). São apresentados todos os cálculos necessários.

#### Flecha instantânea

#### Cálculo da carga total atuante na viga principal:

$P_{sd} = G \times \gamma_G + (Q \times l_{inf}) \times \gamma_Q$	
Carga permanente ( $G = \text{Carga}_{vigasPrinc}$ )	1,79 kN/m
Coeficiente parcial relativo às ações permanentes ( $\gamma_G$ )	1,00
Sobrecarga em edifícios habitacionais ( $Q$ )	2,00 kN/m <sup>2</sup>
Largura de influência das vigas principais ( $l_{inf}$ )	0,60 m
Coeficiente parcial relativo às ações variáveis ( $\gamma_Q$ )	1,00
$P_{sd} = 2,99 \text{ kN/m}$	

#### Cálculo da deformada instantânea:

$\mu_{int} = \frac{5 \times P_{sd} \times L^4}{384 \times E \times I}$	
Carga atuante ( $P_{sd}$ )	2,99 kN/m
Vão do pavimento ( $L$ )	4,3 m
Módulo de elasticidade paralelo ao fio ( $E$ )	$11,6 \times 10^6 \text{ kPa}$
Inércia da viga principal ( $I$ )	$1,06 \times 10^{-4} \text{ m}^4$
$\mu_{int} = 0,0108 \text{ m}$	

**Cálculo do valor limite da flecha instantânea:**

$w_{inst} \leq \frac{l}{300}$	
Vão do pavimento ( $L$ )	4,3 m
$w_{inst} \leq 0,0143 \text{ m}$	

$0,00818 \text{ m} \leq 0,014 \text{ m}$	<b>Verifica a flecha instantânea.</b>
--	---------------------------------------

Flecha final

**Cálculo da carga permanente atuante na viga principal:**

$P_{sd,G} = G \times \gamma_G$	
Carga permanente ( $G = \text{Carga}_{\text{vigasPrinc}}$ )	1,79 kN/m
Coefficiente parcial relativo às ações permanentes ( $\gamma_G$ )	1,00
$P_{sd,G} = 1,79 \text{ kN/m}$	

**Cálculo da deformada relativa às cargas permanentes:**

$\mu_{finG} = \frac{5 \times P_{sd} \times L^4}{384 \times E \times I} \times (1 + k_{def})$	
Carga atuante ( $P_{sd,G}$ )	1,79 kN/m
Vão do pavimento ( $L$ )	4,3 m
Módulo de elasticidade paralelo ao fio ( $E$ )	$11,6 \times 10^6 \text{ kPa}$
Inércia da viga principal ( $I$ )	$1,06 \times 10^{-4} \text{ m}^4$
Fator relativo à deformação ( $k_{def}$ )	0,80
$\mu_{finG} = 0,0117 \text{ m}$	

**Cálculo da carga variável atuante na viga principal:**

$P_{sd,Q} = (Q \times l_{inf}) \times \gamma_Q$	
Sobrecarga em edifícios habitacionais ( $Q$ )	$2,00 \text{ kN/m}^2$
Largura de influência das vigas principais ( $l_{inf}$ )	0,60 m
Coefficiente parcial relativo às ações variáveis ( $\gamma_Q$ )	1,00
$P_{sd,Q} = 1,20 \text{ kN/m}$	

**Cálculo da deformada relativa às cargas variáveis:**

$\mu_{finQ} = \frac{5 \times P_{sd,Q} \times L^4}{384 \times E \times I} \times (1 + \varphi_2 k_{def})$	
Carga atuante ( $P_{sd,Q}$ )	1,20 kN/m
Vão do pavimento ( $L$ )	4,3 m
Módulo de elasticidade paralelo ao fio ( $E$ )	$11,6 \times 10^6$ kPa
Inércia da viga principal ( $I$ )	$1,06 \times 10^{-4}$ m <sup>4</sup>
Fator para o valor quase-permanente de uma ação variável ( $\varphi_2$ )	0,30
Fator relativo à deformação ( $k_{def}$ )	0,80
$\mu_{finQ} = 0,0054$ m	

**Cálculo da deformada final:**

$\mu_{final} = \mu_{finG} + \mu_{finQ}$	
$\mu_{finG}$	0,0117 m
$\mu_{finQ}$	0,0054 m
$\mu_{final} = 0,0171$ m	

**Cálculo do valor limite da flecha final:**

$w_{final} \leq \frac{l}{250}$	
Vão do pavimento ( $L$ )	4,3 m
$w_{final} \leq 0,0172$ m	

$0,0171 \text{ m} \leq 0,0172 \text{ m}$	<b>Verifica a flecha final.</b>
--	---------------------------------

5.4.1.3.2 Estado-limite de vibração

Para a verificação do estado-limite de vibração é necessário ter em conta a frequência a que o pavimento está sujeito. É importante contabilizar a presença das vigas secundárias e do soalho devido ao facto de estes contribuírem para uma melhor satisfação do conforto. São apresentados todos os cálculos necessários para a verificação deste estado-limite.

**Cálculo dos parâmetros:**

Fator de rigidez para cada elemento	Viga principal $(EI)_{vigaP}$	2058613,33 $Nm^2/m$
	Viga secundária $(EI)_{vigas}$	703905,19 $Nm^2/m$
	Soalho $(EI)_{soalho}$	12000 $Nm^2/m$
Massa por unidade de área ( $m$ )		242 $kg/m^2$

**Cálculo da frequência fundamental do pavimento:**

$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_T}{m}}$	
Vão do pavimento ( $l$ )	4,3 $m$
Fator de rigidez total $(EI)_T$	2774518,52 $Nm^2/m$
Massa por unidade de área ( $m$ )	242 $kg/m^2$
$f_1 = 9,1 \text{ Hz}$	

Como a frequência fundamental do pavimento é maior que 8Hz, para a verificação do estado-limite de utilização é necessário ter em conta a verificação das duas condições:

$$\frac{w}{F} \leq a$$

$$v \leq b(f_1 \tau - 1)$$

**Cálculo da deformação instantânea vertical máxima causada por uma força vertical:**

$\frac{w}{F} = \frac{L^4}{384 \times E \times I}$	
Vão do pavimento ( $L$ )	4,3 $m$
Módulo de elasticidade paralelo ao fio ( $E$ )	11,6 $\times 10^6 \text{ kPa}$
Inércia da viga principal ( $I$ )	1,06 $\times 10^{-4} \text{ m}^4$
$\frac{w}{F} = 0,724 \times 10^{-3} \text{ m/kN} = 0,724 \text{ mm/kN}$	

Admitindo que  $a = 0,724 \text{ mm/kN}$  e com a consulta da figura 4.4 da página 97, o valor de  $b$  é igual 130  $\text{mm/kN}$ .

**Cálculo do parâmetro  $n_{40}$ :**

$$n_{40} = \left\{ \left( \left( \frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \left( \frac{b}{l} \right)^4 \frac{(EI)_L}{(EI)_b} \right\}^{0,25}$$

Frequência fundamental ( $f_1$ )	9,1 Hz
Vão do pavimento ( $l$ )	4,3 m
Largura do pavimento ( $b$ )	8 m
Fator de rigidez de flexão segundo o vão principal $(EI)_L$ [ $(EI)_{vigaP} + (EI)_{soalho}$ ]	2070613,33 Nm <sup>2</sup> /m
Fator de rigidez de flexão segundo a direção transversal $b$ $(EI)_b$ [ $(EI)_{vigas}$ ]	703905,19 Nm <sup>2</sup> /m
$n_{40} = 5,04 \text{ Hz}$	

**Cálculo da velocidade de respostas a um impulso unitário:**

$$v = \frac{4(0,4 + 0,6 \times n_{40})}{mbl + 200}$$

Parâmetro $n_{40}$	5,04 Hz
Massa por unidade de área ( $m$ )	242 kg/m <sup>2</sup>
Largura do pavimento ( $b$ )	8 m
Vão do pavimento ( $l$ )	4,3 m
$v = 0,0016 \text{ m/s}$	

**Cálculo de  $b^{(f_1\tau-1)}$ :**

$$b^{(f_1\tau-1)}$$

Parâmetro $b$	0,13 m/kN
Frequência fundamental ( $f_1$ )	9,1 Hz
Coefficiente de amortecimento modal ( $\tau$ )	0,01
$b^{(f_1\tau-1)} = 6,4 \text{ m/Ns}^2$	

$$v \leq b^{(f_1\tau-1)} \Leftrightarrow 0,0016 < 6,4$$

Verifica as vibrações.

#### 5.4.2 EXIGÊNCIAS TÉRMICAS

Para a verificação das exigências térmicas da parcela C4 vão ser analisados os dois tipos de pavimentos, 1 e 2, descritos anteriormente.

#### 5.4.2.1 Análise de dados

Para obter os coeficientes de transmissão térmica máxima admissíveis no elemento horizontal em estudo é necessário avaliar a zona climática. Com a consulta da figura 4.5, página 100, da presente dissertação é possível concluir que o edifício em estudo pertence à zona climática  $I_2$  (Porto).

Para a zona climática  $I_2$  os coeficientes de transmissão térmica (U) máximos admissíveis são de  $1,00 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$  para elementos em contacto com o exterior e de  $1,30 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$  para elementos interiores (quadro 4.14, página 102).

É também necessário ter em conta algumas características dos materiais que contribuem para a sua verificação. São apresentadas no quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Características térmicas dos materiais

	Material	Espessura (m)	Condutibilidade térmica [ $W/(m \cdot ^\circ C)$ ]	Resistência térmica [ $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$ ]
Pavimento 1	OSB	0,022	0,13	
	Caixa-de-ar	0,10		0,160
	Lã de rocha	0,05	0,032	
	Placa de gesso	0,015	0,25	
Pavimento 2	Viroc	0,02	0,23	
	OSB	0,022	0,13	
	Caixa-de-ar	0,10		0,160
	Lã de rocha	0,05	0,032	
	Placa de gesso	0,015	0,25	
Nota 1: A manta acústica não vai ser considerada para a verificação das exigências térmicas porque não se encontra continua no pavimento.				
Nota 2: O granulado de cortiça também não vai ser considerado devido à incoerência de valores disponíveis no mercado.				

#### 5.4.2.2 Cálculo dos coeficientes de transmissão térmica

Seguidamente são apresentados os cálculos dos coeficientes de transmissão térmica de cada pavimento. Como os pavimentos se encontram no interior do edifício os valores de  $R_{se}$  vão ser iguais aos valores de  $R_{si}$ . Considerando o fluxo de calor ascendente, o valor de  $R_{si}$  admitido para os cálculos, será de  $0,10 m^2 \cdot ^\circ C/W$  (quadro 4.12, página 101).

**Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento 1:**

$U_{pav1} = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}}$	
Resistência térmica superficial interior ( $R_{si}$ )	0,10 ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/W
Somatório das resistências térmicas ( $\sum R_j$ )	2,04 ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/W
$U_{pav1} = 0,46 \text{ W}/(m^2 \cdot ^\circ C)$	

**Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento 2:**

$U_{pav2} = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}}$	
Resistência térmica superficial interior ( $R_{si}$ )	0,10 ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/W
Somatório das resistências térmicas ( $\sum R_j$ )	1,95 ( $m^2 \cdot ^\circ C$ )/W
$U_{pav2} = 0,45 \text{ W}/(m^2 \cdot ^\circ C)$	

**5.4.2.3 Verificação regulamentar**

Quando a verificação do conforto térmico requer o estudo de um elemento em contacto com um local não aquecido é necessário o cálculo do coeficiente de redução das perdas térmicas. Esta situação vai ser analisada para os dois tipos de pavimento existentes e para os casos mais desfavoráveis.

- **Pavimento 1: circulação comum do piso 0 e a sala do piso 1**

$A_i = 8,46 \text{ m}^2$  (área do teto da circulação comum)

$A_u = 5,08 \text{ m}^2$  (área da parede da circulação comum em contacto com o exterior)

$$\frac{A_i}{A_u} = 1,67$$

Com a consulta do quadro 4.13, página 102, é de concluir que  $\tau = 0,3$ .

Como  $\tau < 0,7$ , o pavimento é considerado como elemento interior, logo:

$$U_{ref} = 1,30 \text{ W}/(m^2 \cdot ^\circ C)$$

$U_{pav1} < U_{ref} \Leftrightarrow 0,46 \text{ W}/(m^2 \cdot ^\circ C) < 1,3 \text{ W}/(m^2 \cdot ^\circ C)$	<b>Verifica.</b>
---	------------------

- **Pavimento 2: Lavandaria do piso 3 e WC do piso 2**

$A_i = 2,76 \text{ m}^2$  (área do chão da lavandaria)

$A_u = 4,50 \text{ m}^2$  (área da parede da lavandaria em contacto com o exterior)

$$\frac{A_i}{A_u} = 0,61$$

Com a consulta do quadro 4.13, página 102, é de concluir que  $\tau = 0,8$ .

Como  $\tau > 0,7$ , o pavimento é considerado como elemento exterior, logo:

$$U_{ref} = 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$U_{pav2} < U_{ref} \Leftrightarrow 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) < 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	<b>Verifica.</b>
--	------------------

### 5.4.3 EXIGÊNCIAS ACÚSTICAS

#### 5.4.3.1 Análise de dados

Para a verificação das exigências acústicas impostas pelo regulamento, é necessário, ter em conta, as características relativas ao tema de todos os materiais que constituem o pavimento. Contudo, devido à falta de informação nas fichas técnicas e da incoerência de valores a análise às exigências acústicas vai ser realizada com base em relatórios realizados pelo laboratório inSitu no dia 30 de Maio de 2013, aquando da finalização da obra.

Os dois relatórios, o primeiro referente ao isolamento sonoro a sons aéreos e o segundo referente ao isolamento sonoro a sons de percussão, encontra-se, para uma melhor análise, no anexo 2. Ambos, descrevem os métodos de medição e equipamentos utilizados e a determinação dos índices de isolamento sonoro a sons aéreos,  $D_{nT,w}$ , e a sons de percussão,  $L'_{nT,w}$ . Os ensaios foram realizados entre o quarto da habitação do 1º Frente Direita com o quarto da habitação do 2º Frente Direita, correspondente com o pavimento 1 descrito anteriormente.

#### 5.4.3.2 Verificação regulamentar

Na parcela C4 as verificações regulamentares necessárias para o cumprimento das exigências acústicas, encontra-se esquematizadas no quadro seguinte.

Quadro 5.3 - Limites regulamentares a cumprir na parcela C4

<b>Sons Aéreos</b>	
Habituação/ Habituação	$D_{nT,w} \geq 50 \text{ dB}$
Habituação/ Comércio	$D_{nT,w} \geq 58 \text{ dB}$
Circulação comum (piso 0)/ Habituação (piso1)	$D_{nT,w} \geq 48 \text{ dB}$
<b>Sons Percussão</b>	
Habituação/ Habituação	$L'_{nT,w} \leq 60 \text{ dB}$

Os resultados obtidos pelo laboratório, da análise entre duas habitações, foram:

○ **Sons aéreos:**

$$D_{nT,w} = 54 \text{ dB}$$

$$\text{Acréscimo do valor de I} \Rightarrow D_{nT,w} = 54 + 3 = 57 \text{ dB}$$

$57 \text{ dB} > 50 \text{ dB}$	Verifica.
---------------------------------	-----------

○ **Sons de percussão:**

$$L'_{nT,w} = 46 \text{ dB}$$

$$\text{Decréscimo do valor de I:} \Rightarrow L'_{nT,w} = 46 - 3 = 43 \text{ dB}$$

$60 \text{ dB} > 43 \text{ dB}$	Verifica.
---------------------------------	-----------

Após realizada esta análise quantitativa, foi possível concluir, que o pavimento 1 entre as duas habitações, cumpre com as exigências regulamentares a nível acústico.

Contudo, se os valores dos ensaios fossem referentes ao pavimento entre a habitação e o comércio, o índice de isolamento sonoro a sons aéreos não iria verificar. É importante referir que esta última análise não seria possível verificar porque, até à entrega desta realização, os tetos dos comércios ainda se encontravam em tosco.

## 5.4.4 EXIGÊNCIAS CONTRA INCÊNDIO

### 5.4.4.1 Análise de dados

Tendo em conta a análise do regime jurídico da segurança contra incêndios em edifícios são apresentados os aspetos fundamentais necessários para a verificação das exigências contra incêndios. Podem ser consultados no quadro seguinte.

Quadro 5.4 – Análise dos aspetos fundamentais

Aspetos fundamentais		Observações	Consulta
<b>Utilização - tipo</b>	UT I e UT VIII	Considera-se a utilização - tipo mais desfavorável.*	Quadro 4.15 página 109
<b>Local de risco</b>	A	Local de risco em estudo apresenta as condições do quadro 4.17.	Quadro 4.16 página 110
<b>Categoria de risco</b>	2º Categoria de risco	Altura da UT I maior que 9 m.	Quadro 4.17 página 111
*A utilização-tipo mais desfavorável é a UT I porque, é para esta, que se obtém uma categoria de risco mais elevada.			

Com a análise destes aspetos é possível concluir que a resistência ao fogo mínima que os elementos estruturais da parcela C4 podem apresentar é REI 60 (quadro 4.24, página 117). Ou seja, devem apresentar capacidade de suporte carga, estanquidade a chamas e gases quentes e isolamento térmico durante 60 minutos.

A reação a fogo mínima, no caso de estudo apresentado deve ser D-s2 d2 (M3) para tetos, e, E<sub>FL</sub>-s2 (M4) para pavimentos (quadro 4.25, página 117).

### 5.4.4.2 Verificação regulamentar

Os materiais constituintes dos pavimentos a ter em conta para a verificação da reação ao fogo encontram-se no quadro seguinte.

Quadro 5.5 – Classificação quanto à reação ao fogo dos materiais

<b>Materiais</b>	<b>Classificação Sistema Europeu</b>	<b>Especificações LNEC (equivalente)</b>	<b>Reação ao fogo mínima</b>	<b>Verificação</b>
Revestimento do soalho – Verniz da Bona	B <sub>FL-s1</sub>	M1	E <sub>FL-s2</sub> (M4)	Verifica
Placa de gesso laminado	A2-s1, d0	M0 ou M1	D-s2 d2 (M3)	Verifica
Perfis – Placa de gesso laminado	A2	M0	D-s2 d2 (M3)	Verifica.

Após a análise dos revestimentos que constituem o pavimento e das exigências a verificar foi possível constatar que todos eles cumprem com o pretendido.

Seguidamente, vai ser efetuada a verificação da resistência ao fogo das vigas principais, segundo a metodologia do EC5:1-2 (EC5:Parte1-2, 2004). Vão ser analisadas para uma duração de 60 minutos, devido ao facto de este ser o valor mínimo imposto pelo RT-SCIE.

#### 5.4.4.3 Verificação segundo o EC5:1-2

A verificação através do EC5:1-2 (EC5:Parte1-2, 2004) considera que as vigas estão diretamente expostas ao fogo e sem qualquer tipo de proteção. Apesar de as vigas principais se encontrarem protegidas por materiais com baixa reação ao fogo, estes não se vão considerar para assim ser analisado o caso mais desfavorável e cumprir com o regulamento em causa.

São apresentados de seguida, todos os cálculos necessários para verificar se as vigas cumprem ao estado-limite último durante 60 minutos.

##### 5.4.4.3.1 Cálculo da nova secção

#### Cálculo da profundidade de carbonização nominal:

$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$	
Taxa de carbonização nominal ( $\beta_n$ ) (quadro 4.27, página 120)	<i>0,7 mm/min</i>
Tempo ( $t$ )	<i>60 min</i>
$d_{char,n} = 42 \text{ mm}$	

**Cálculo da profundidade de carbonização efetiva:**

$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0$	
Profundidade de carbonização nominal ( $d_{char,n}$ )	42 mm
Fator de majoração $k_0$ (quadro 4.28, página 121)	1,0
Fator de majoração $d_0$	7mm
$d_{ef} = 49 \text{ mm} = 0,049 \text{ m}$	

É considerado que o fogo está em contacto com dois lados da viga principal. A viga principal fica reduzida a uma secção de  $0,07 \times 0,17 \text{ (m}^2\text{)}$ .

5.4.4.3.2 Cálculo das novas cargas atuantes

**Cálculo do peso próprio das vigas principais:**

$P.P.vigas_{princ} = \rho \times h \times b$	
Massa volúmica ( $\rho$ )	380 kg/m <sup>3</sup> = 3,73 kN/m <sup>3</sup>
Altura ( $h$ )	0,17 m
Base ( $b$ )	0,07 m
$P.P.vigas_{princ} = 0.04 \text{ kN/m}$	

**Cálculo da carga permanente na viga principal:**

$Carga_{vigasPrinc} = (P.P.Par.div. + P.P.Rev. + P.P.soalho + P.P.vigasSecun) \times l_{inf} + P.P.vigasPrinc$	
Peso próprio das paredes divisórias ( $P.P.Par.div.$ )	1,00 kN/m <sup>2</sup>
Peso próprio dos revestimentos ( $P.P.Rev.$ )	0,30 kN/m <sup>2</sup>
Peso próprio do soalho ( $P.P.soalho$ )	0,18 kN/m <sup>2</sup>
Peso próprio das vigas secundárias ( $P.P.vigasSecun$ )	1,33 kN/m <sup>2</sup>
Largura de influência das vigas principais ( $l_{inf}$ )	0,60 m
Peso próprio das vigas principais ( $P.P.vigasPrinc$ )	0.04 kN/m
$Carga_{vigasPrinc} = 1,73 \text{ kN/m}$	

**Cálculo da carga total atuante na viga principal:**

$P_{sd} = G \times \gamma_G + (Q \times l_{inf}) \times \gamma_Q$	
Carga permanente ( $G = Carga_{vigasPrinc}$ )	1,73 kN/m
Coefficiente parcial relativo às ações permanentes ( $\gamma_G$ )	1,35
Sobrecarga em edifícios habitacionais ( $Q$ )	2,00 kN/m <sup>2</sup>
Largura de influência das vigas principais ( $l_{inf}$ )	0,60 m
Coefficiente parcial relativo às ações variáveis ( $\gamma_Q$ )	1,5
$P_{sd} = 4,14 \text{ kN/m}$	

**Cálculo do esforço transversor:**

$V_{sd} = \frac{P_{sd} \times L}{2}$	
Carga atuante ( $P_{sd}$ )	4,14 kN/m
Vão do pavimento ( $L$ )	4,3 m
$V_{sd} = 8,90 \text{ kN}$	

**Cálculo do momento:**

$M_{sd} = \frac{P_{ed} \times L^2}{8}$	
Carga atuante ( $P_{sd}$ )	4,14 kN/m
Vão do pavimento ( $L$ )	4,3 m
$M_{sd} = 9,57 \text{ kN.m}$	

5.4.4.3.3 Verificação à flexão

Para a verificação da flexão nas vigas principais quando sujeitas à ação do fogo, é necessário cumprir com a seguinte expressão:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{md,fi}$$

Seguidamente são apresentados os cálculos necessários a esta verificação.

**Cálculo da tensão atuante de flexão:**

$\sigma_{md} = \frac{M_{sd}}{I} \times Y_G$	
Momento ( $M_{sd}$ )	9,57 kN.m
Inércia da viga principal ( $I$ )	$2,87 \times 10^{-5} m^4$
Centro de gravidade ( $Y_G$ )	0,085 m
$\sigma_{md} = 28343,21 \text{ kPa} = 28,34 \text{ MPa} \approx 28 \text{ MPa}$	

**Cálculo do valor resistente à flexão:**

$f_{md,fi} = K_{mod,fi} \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}}$			
Fator de correção para a situação de incêndio ( $K_{mod,fi}$ )		1,00	
$k_{fi}$ (quadro 4.26, página 119)	Percentil de 20% da resistência de cálculo da madeira: $f_{0,2} = k_{fi} \cdot f_{mk}$	1,15	27,60 MPa
Valor característico da resistência à flexão ( $f_{mk}$ )		24 MPa	
Coeficiente parcial de segurança para madeiras sob a ação do fogo ( $\gamma_{M,fi}$ )		1,00	
$f_{md,fi} = 27,60 \text{ MPa} \approx 28 \text{ MPa}$			

$\sigma_{m,d} \leq f_{md,fi} \Leftrightarrow 28 \text{ MPa} \approx 28 \text{ MPa}$	<b>Verifica à flexão.</b>
---	---------------------------

5.4.4.3.4 Verificação ao corte

Para a verificação ao corte das vigas principais é necessário cumprir com a seguinte condição:

$$\tau_d \leq f_{vd,fi}$$

Apresentam-se de seguida os cálculos necessários a esta verificação.

**Cálculo da largura reduzida:**

$b_{ef} = k_{cr} \times b$	
$k_{cr}$	0,67
Largura da viga principal ( $b$ )	0,07 m
$b_{ef} = 0,0469 \text{ m}$	

**Cálculo da tensão atuante de corte:**

$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_{sd}}{b_{ef} h}$	
Esforço transversal ( $V_{sd}$ )	8,90 kN
Largura reduzida ( $b_{ef}$ )	0,0469 m
Altura da viga principal ( $h$ )	0,17 m
$\tau_d = 1674,40 \text{ kPa} = 1,67 \text{ MPa}$	

**Cálculo da tensão resistente de corte:**

$f_{vd,fi} = K_{mod,fi} \frac{f_{0,2}}{\gamma_{M,fi}}$			
Fator de correção para a situação de incêndio ( $K_{mod,fi}$ )		1,00	
$k_{fi}$ (quadro 4.26, página 119)	Percentil de 20% da resistência de cálculo da madeira: $f_{0,2} = k_{fi} \cdot f_{vk}$	1,15	3,11 MPa
Valor característico da resistência ao corte ( $f_{vk}$ )		2,7 MPa	
Coeficiente parcial de segurança para madeiras sob a ação do fogo ( $\gamma_{M,fi}$ )		1,00	
$f_{vd,fi} = 3,11 \text{ MPa}$			

$$\tau_d \leq f_{vd,fi} \Leftrightarrow 1,67 \text{ MPa} < 3,11 \text{ MPa}$$

**Verifica ao corte.**

## 6 CONCLUSÃO

Os dois principais objetivos, descritos de seguida, foram atingidos. As normas e os regulamentos aplicáveis à verificação das exigências funcionais em pavimentos de madeira foram sintetizados e somente foram descritas as metodologias necessárias à aplicação ao caso de estudo da presente dissertação. Estas metodologias foram cuidadosamente estudadas para o pavimento da parcela C4, do Quarteirão das Cardosas, que cumpriu com todas as exigências funcionais pretendidas.

A madeira é um material que apresenta grande variabilidade nas suas características, e para que se possa aplicar corretamente em fase de projeto é necessário conhecê-las com algum rigor. A análise da madeira como material foi realizada no capítulo 2 da presente tese referindo as suas características mais importantes. Houve especial cuidado na conceção deste capítulo devido à quantidade de bibliografia disponível sobre este tema, fator que poderia facilmente ser dedutor de confusão. Neste capítulo, foi possível concluir que:

- A madeira, comparada com a sua densidade, apresenta excelentes propriedades mecânicas, principalmente no que refere à flexão;
- Relativamente ao comportamento térmico a madeira apresenta uma baixa condutividade, funcionando assim, como um razoável isolamento térmico;
- Em termos acústicos, é onde a madeira apresenta um pior comportamento em termos de isolamento, devido à sua baixa massa e elevada flexibilidade;
- É um material combustível com elevada resistência ao fogo, ou seja, devido à sua constituição é um material que arde facilmente, mas a sua baixa condutividade térmica vai dificultar a elevação da temperatura no seu interior e, durante o fogo, forma uma camada carbonizada que impede o avanço da chama.

Foi elaborada uma análise a todos os elementos estruturais que podem constituir um pavimento de madeira, com referências ao que era usado pelos antigos construtores, para uma melhor aplicabilidade do atual. Hoje em dia, em Portugal, já possível encontrar uma enorme variedade de derivados da madeira com excelentes características, e com a possibilidade de obtenção de peças maiores e não condicionadas pelo tamanho do tronco da

árvore. São também apresentados os materiais isolantes que podem ser introduzidos no pavimento para melhorar e fazer cumprir com as exigências funcionais a que se propõem. A enorme variedade e por vezes o desconhecimento das suas verdadeiras características dá origem a aplicações indevidas e descredibiliza os resultados obtidos para as verificações das exigências funcionais. Os isolantes térmicos e acústicos, e os sistemas de proteção contra incêndio apresentados nesta dissertação, foram os que apresentaram um valor mais coerente para a sua aplicação.

Para que seja executado um projeto de estruturas de madeira, é necessário ter conhecimento do Eurocódigo 5: parte 1-1, bem como as normas inerentes à sua prática: o Eurocódigo 0 - Bases de projeto e o Eurocódigo 1 - Ações em estruturas, que se aplicam a qualquer projeto de estruturas na generalidade. O EC5:1-1 (EC5:Parte1-1, 2004) prevê a aplicação de classes de serviço e coeficientes de segurança que afetam diretamente as propriedades e as características da madeira, necessárias a ter em conta no seu dimensionamento. Esta norma, para verificação da segurança de estruturas de madeira, apresenta dois estados-limite, o estado-limite último e o estado-limite de utilização, sendo que para cada caso devem ser utilizadas as combinações de ações mais apropriadas. No que refere à verificação de segurança de pavimentos é necessário ter em conta, em relação ao estado-limite último, a verificação à flexão simples das tábuas de soalho, flexão simples com bambeamento das vigas principais e verificação ao corte das vigas. Relativamente ao estado-limite de utilização, é necessário verificar a deformação e a vibração dos pavimentos. Na realização do caso de estudo, foi possível concluir que o pavimento de madeira construído, na parcela C4, do Quarteirão das Cardosas, cumpre com todas as exigências impostas anteriormente descritas. O estudo das exigências térmicas e acústicas revelou-se análogo a qualquer outro projeto. Os regulamentos que incidem sobre estes dois temas são de compreensão fácil e os valores regulamentares a cumprir nos pavimentos são de rápida obtenção. Para verificação das exigências térmicas no caso de estudo, foram considerados dois pavimentos, um pavimento interior entre dois espaços aquecidos e outro entre um espaço aquecido e espaço não aquecido. As verificações necessárias a esta exigência foram cumpridas com sucesso. O mesmo não se aplica às imposições da acústica. Embora o pavimento tratado tenha cumprido

com os limites impostos o mesmo não se ia verificar se se trata-se do pavimento entre um comércio e uma habitação, pois o isolamento sonoro a sons aéreos não iria verificar. Contudo, é importante referir que o laboratório não realizou os ensaios nesta última situação devido ao facto, já evidenciado, de que os tetos dos comércios ainda se encontravam em tosco. Para a verificação das exigências acústicas não foi possível realizar uma análise quantitativa devido à falta de dados nas fichas técnicas dos materiais aplicados no pavimento em estudo. Tal como os regulamentos da térmica e da acústica, os regulamentos para verificação das exigências contra incêndio é análogo a qualquer outro projeto, excetuando no que toca à verificação da resistência. Para o pavimento do caso de estudo foram analisadas todas as características necessárias do edifício em que o pavimento se insere, tal como todos os parâmetros de classificação necessários à sua verificação. Após uma análise aos revestimentos constituintes dos pavimentos foi possível constatar que todos eles cumprem com os mínimos estabelecidos quanto à classificação de reação ao fogo. Quanto à verificação da resistência ao fogo foi necessário analisar o Eurocódigo 5: parte 1-2. Esta norma europeia foi de difícil interpretação, porque como ainda não se encontra em português, houve dificuldade na tradução de termos técnicos e de coeficientes. O EC5:parte 1-2 (EC5:Parte1-2, 2004) apresenta dois métodos simplificados que se destinam a ser usados na prática corrente de projeto. Considera a retirada da camada de carbonização às vigas principais e compara as propriedades desta nova secção com os valores de cálculo. Esta verificação é realizada considerando que a madeira se encontra sem qualquer tipo de proteção, o que a maior parte das vezes não acontece. Conclui-se que o EC5:1-2 (EC5:Parte1-2, 2004) considera sempre o caso mais desfavorável.

Como houve um acompanhamento à conceção deste pavimento de madeira em obra, é necessário referir alguns cuidados a ter. Devido à variabilidade de propriedades que a madeira apresenta deve haver um rigoroso controlo antes da sua aplicação. De ser verificado se o que está em obra cumpre com o que está previsto em projeto. O seu armazenamento deve ser feito com algum cuidado e com a devida proteção às condições ambientais desfavoráveis, para assim, evitar o aparecimento de defeitos, como por exemplo empenos.



## BIBLIOGRAFIA

---

- ALVAREZ, Martitegui R. A., 2000. Estructuras de Madera – Diseño y Calculo, Asociación de Investigación Técnica da las Industrias de la Madera y Corcho, 2ª edição, AITIM.
- ANASTÁCIO, Ricardo, 2010. Especificação de protecção fogo para estruturas de madeira. Faculdade Engenharia Universidade Porto, Porto. (Dissertação de Mestrado)
- ANPC, 2008. Estabelecimentos de apoio social a pessoas idosas – Manual para elaboração de planos de segurança. Associação nacional de protecção civil. Carnaxide.
- APPLETON, J., 2003. Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e tecnologias de intervenção. Edições Orion, Amadora.
- BOTELHO, Jerónimo, 2006. Avaliação não Destrutiva da Capacidade Resistente de Estruturas de Madeira de Edifícios Antigos. Faculdade Engenharia Universidade Porto, Porto. (Dissertação de Mestrado)
- BRANCO, J. & CRUZ, P., & PIAZZA, M., 2006. Asnas de Madeira. A importância da rigidez das ligações. 4ª Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas. Laboratório Nacional Engenharia Civil, Lisboa.
- BRITES, Ricardo, 2011. Avaliação de segurança das estruturas antigas de madeira. Universidade do Minho. (Dissertação de Doutoramento)
- CACHIM, Paulo Barreto, 2007. Construções em Madeira - A madeira como material de construção. Publindústria, Porto.
- CAMPEÃO, José C. R., 2012. Elementos de apoio à cadeira de Segurança e Conforto das construções. Instituto Superior Engenharia Porto, Porto.
- CARVALHO, Albino, 1996 - Madeiras portuguesas - Vol. 1 – Estrutura Anatómica, propriedades, utilizações. Instituto Florestal, Lisboa.
- CORREIA, Emanuel A., 2009. Análise e Dimensionamento de Estruturas de Madeira. Faculdade Engenharia Universidade Porto, Porto. (Dissertação de Mestrado)
- COSTA, F. P. (1955). Enciclopédia prática da construção civil. Portugália editora, Lisboa.

COSTA, Luís, 2009. Tipificação de soluções de reabilitação de pavimentos estruturais em madeira em edifícios antigos. Faculdade Engenharia Universidade Porto, Porto. (Dissertação de Mestrado)

COUTINHO, Joana de Sousa, 1999. Sebenta de Materiais de Construção 1 – Madeiras. Faculdade Engenharia Universidade Porto, Porto.

DIAS, Tiago., 2008. Pavimentos de madeira em edifícios antigos. Diagnóstico e intervenção estrutural. Faculdade Engenharia Universidade Porto, Porto. (Dissertação de Mestrado)

EN 14374: 2004. Timber structures – structural laminated veneer lumber – Requirements. Comité Europeu de Normalização, 2004.

EN 1995-1-1:2004 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1 – 1: General Common rules and rules for buildings. Comité Europeu de Normalização, 2004.

EN 1995-1-2: 2004 – Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: General - Structural fire design. Comité Europeu de Normalização, 2004.

FABIÃO, António M., 1996. Árvores e Florestas. Coleção Agro, 2º edição, Publicações Europa América, Mem Martins.

FARIA, J. Amorim & NEGRÃO, João., 2009. Projecto de Estruturas de Madeira. Publindústria Edições Técnicas. Porto.

GARCIA, Maria da Luz, 2002. Elementos de apoio à cadeira de Materiais não estruturais ISEP, e trabalho de investigação dos alunos. Instituto Superior Engenharia Porto, Porto.

ICNF, 2013. 6º inventário florestal nacional – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Instituto da conservação da natureza e das florestas, Lisboa.

ILHARCO, T.& GUEDES, J. & COSTA, A. & MIRANDA, L. & SILVA, B., 2006. Relatório preliminar de inspecção e diagnóstico do edifício do largo de São Domingos nº80, 81 e 82.CESAP. Faculdade Engenharia Universidade Porto, Porto.

IPQ, 2003. NP EN 338:2003, Madeira para estruturas – Classes de resistência. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

LNEC, 1997. Humidade da madeira. Madeira para construção. Ficha M9. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

LNEC, 2006. Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios - Versão actualizada, ITE 50. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

LOPES, Duarte B., 2005. Estruturas de madeira. Elementos de apoio à ação de formação em Estruturas de madeira. Porto.

MAKEPEACE, J., 1993. The encyclopedia of wood. Nova York.

MARQUES, Américo & SILVA, João & GASPARGAS, César, 2010. Isolamento térmico e acústico. Universidade Fernando Pessoa, Porto.

MARTINS, João G. & ARAÚJO, Jorge, 2005. Materiais de Construção – Madeiras. Sebenta de materiais de construção. Universidade Fernando Pessoa, Porto.

MARTINS, Sérgio, 2009. Estruturas de Madeira – Inspeção e Diagnóstico. Aplicação em Caso de Estudo. Universidade do Minho, Braga. (Dissertação de Mestrado)

MARTINS, Tomás, 2010. Dimensionamento de estruturas em Madeira de coberturas e pavimentos. Instituto Superior Técnico, Lisboa. (Dissertação de Mestrado)

NP EN 1194: 2002. Estruturas de madeira. Madeira lamelada-colada. Classes de resistência e determinação de valores característicos. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

NP EN 1990:2009. Eurocódigo 0 – Bases para projetos de estruturas. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

NP EN 1991-1-1:2009. Eurocódigo 1 – Acções em estruturas. Parte 1-1: Acções gerais – Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

OLIVEIRA, E. V. & GALHANO, F., 2003. Portugal de perto – Arquitectura Tradicional Portuguesa, Publicações Dom Quixote, Lisboa.

RCCTE, 2006. Decreto-Lei 80/2006, de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.

REIS, Maria & MOREIRA, Anabela, 2008. Elementos de apoio à cadeira de Materiais de construção I. Isolamentos térmicos. Instituto Politécnico de Tomar. Tomar.

RGR, 2007. Decreto-Lei 9/2007, de 17 de Janeiro, Regulamento Geral do Ruído.

RJ-SCCI, 2008. Decreto-Lei 220/2008, de 6 de Fevereiro, Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios.

RRAE, 2008. Decreto-Lei 96/2008, 9 de Junho, Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.

RT-SCIE, 2008. Portaria n.º 1532/2008, de 29 de Dezembro, Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios.

SANTOS, Hugo, 2009. Validação da segurança estrutural de pavimentos existentes em madeira. Faculdade Engenharia Universidade Porto, Porto. (Dissertação de Mestrado)

SARDINHA, A. M., 1988. Ciência e tecnologia dos materiais. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

SEGURADO, J.E.S., 1942. Trabalhos de carpintaria civil. Biblioteca de instrução profissional, Livraria Bertrand, Lisboa.

SILVA, P. Martins, 1985. Acústica de Edifícios de Habitação - ITE 8. LNEC, Lisboa.

SOUSA, Carlos F., 2007. Construções em madeira. Elementos de apoio às aulas teórico-práticas. Faculdade Engenharia Universidade Porto, Porto.

TEIXEIRA, Fernando, 2008. Reabilitação do ponto de vista térmico em pavimentos – actuais exigências, novos materiais e tecnologias construtivas. Faculdade Engenharia Universidade Porto, Porto. (Dissertação de Mestrado)

TEIXEIRA, J. J. L., 2004. Descrição do sistema construtivo de casa burguesa do Porto entre os séculos XVII e XIX. Contributo para uma história da construção arquitectónica em Portugal. Provas de aptidão pedagógica e capacidade científica. FAUP, Porto.

TRADA., 2005. Strutting in timber floors, Trada Technology Ltd, Hughenden Valley, High Wycombe, Bucks.

## **SÍTIOS INTERNET**

CENTRO DE ARTIGOS, 2012. Aplicação da lã de vidro. Obtido em: <http://www.centrodeartigos.com>

CIN, 2013. Verniz intumescente e tinta ignífuga. Obtido em: <http://www.cin.pt>

COVEMA, 2013. Placas de OSB e MDF. Obtido em: <http://www.covema.pt>

DANOSA, 2013. Membranas acústicas. Obtido em: <http://www.danosa.com.pt>

FBCE, 2013. Sistemas anti vibráticos. Obtido em: <http://www.fbcengenharia.com>

FIBROSOM, 2013. Isolantes térmicos e acústicos. Obtido em: <http://www.fibrosom.com>

GREENSAVERS, 2012. Ponte de madeira na China. Obtido em: [http:// greensavers.sapo.pt](http://greensavers.sapo.pt)

GYPTEC, 2013. Placas de gesso. Obtido em:<http:// www.gyptec.eu>

INE, 2013. Dados estatísticos. Obtido em: <http:// www.ine.pt>

IPL, 2012. Resistência ao fogo da madeira e dos derivados da madeira. Instituto Politécnico de Leiria. Obtido em: <http:// www.estg.ipleiria.pt>

MUNDIPERFIL, 2013. Lã de rocha. Obtido em: <http:// www.mundiperfil.pt>

NATIONAL PARK SERVICE, 2013. Obtido em: <http:// www.nps.gov>

NATURAL FIBRAS, 2013. Fibra de coco. Obtido em: <http://www.naturalfibras.com.br>

NATURLINK, 2012. Fichas de espécies de madeira. Obtido em: <http://naturlink.sapo.pt/Natureza-e-Ambiente/Fichas-de-Especies>

PANORAMICO, 2013. Igreja na Noruega em madeira. Obtido em: <http://www.panoramio.com/>

PARC, 2011. Pesquisa em arquitectura e construção Casa burguesa do Porto. Obtido em:<http:// www.fec.unicamp.br>

POLIRIGIDO, 2013. Lã de rocha projetada. Obtido em: <http:// www.polirigido.com>

ROBBIALAC, 2013. Verniz intumescente. Obtido em: <http:// www.robbialac.pt>

SILENCIO, 2013. Mantas de espuma. Obtido em: <http:// www.silencio.pt>

SOMAPIL, 2013. Contraplacado. Obtido em: <http:// www.somapil.com.pt>

SRU, 2013. Sociedade de reabilitação Urbana – Porto Vivo. Obtido em: <http://www.portovivosru.pt>

TCC, 2013. Técnica de componentes de construção. Cortiça. Obtido em: <http:// www.tcc-sa.pt>

TIPSGUIDE, 2013. Meo arena. Obtido em: <http:// www.tipsguidelisboa.com>

TRIA, 2012. Protecção da madeira contra o fogo. Obtido em: <http:// www.tria.pt>

VIROC, 2013. Placas de viroc. Obtido em: <http:// www.viroc.pt>

## **CASO PRÁTICO**

Lúcius, 2012. Material fornecido pela Lúcio da Silva Azevedo & Filhos, S.A. Obtido em obra.

## ANEXOS

---



ANEXO 1

---

QUARTEIRÃO DAS CARDOSAS

PARCELA C4

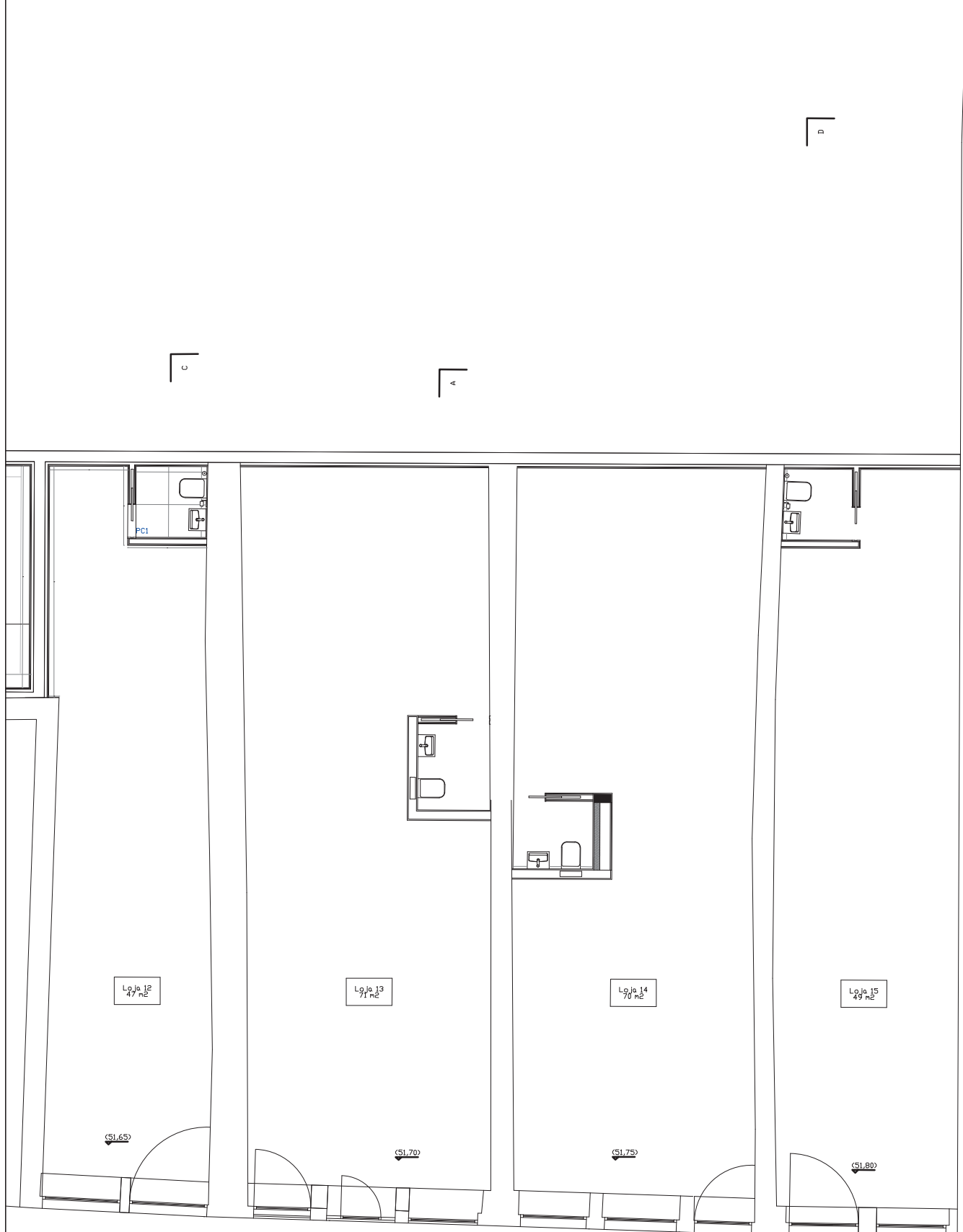
Plantas

Alçados

Cortes



# PLANTA PISO -1



Rua das Flores

Loja 12  
47 m<sup>2</sup>

Loja 13  
71 m<sup>2</sup>

Loja 14  
70 m<sup>2</sup>

Loja 15  
49 m<sup>2</sup>

(SI.65)

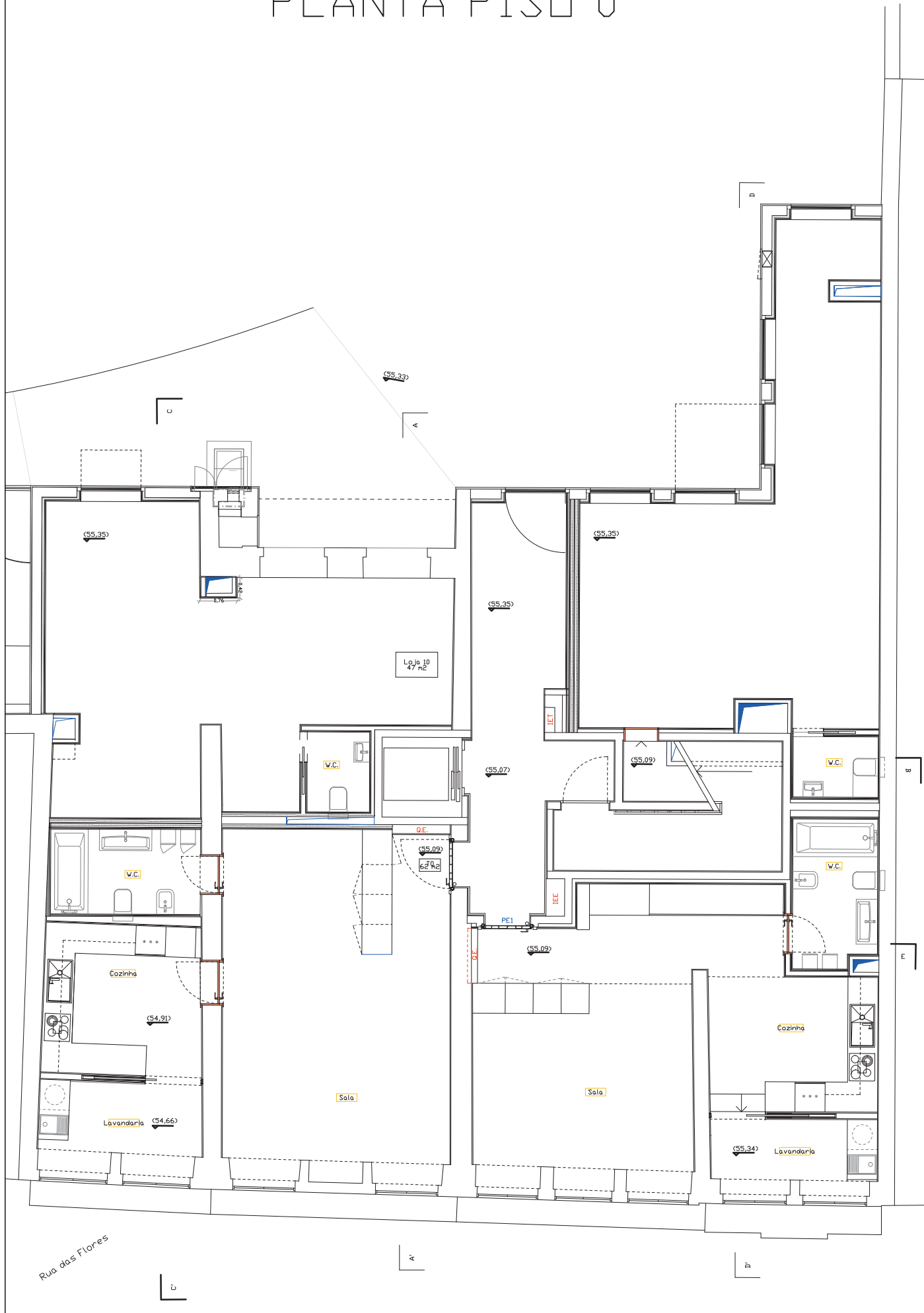
(SI.70)

(SI.75)

(SI.80)

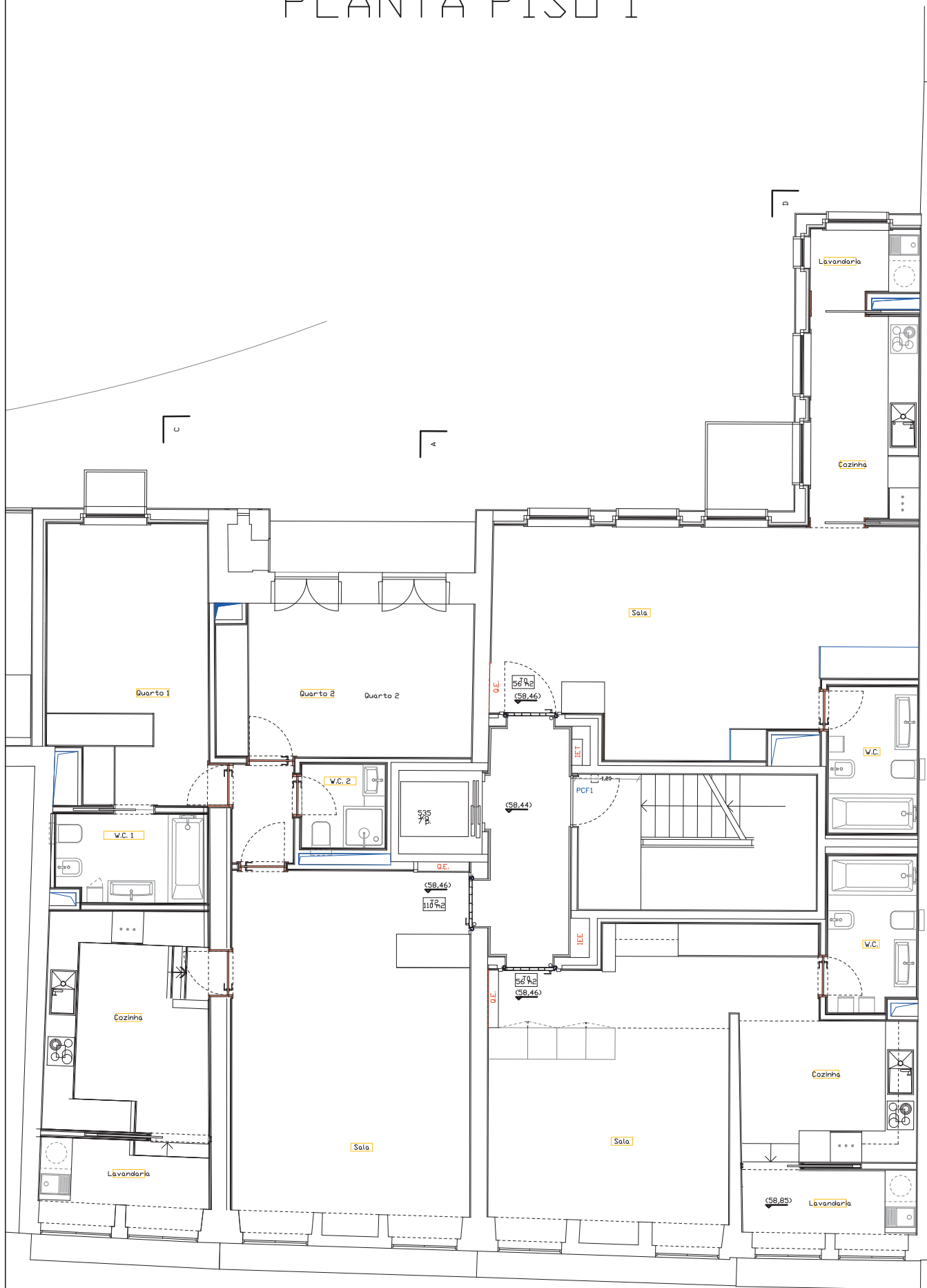


# PLANTA PISO 0



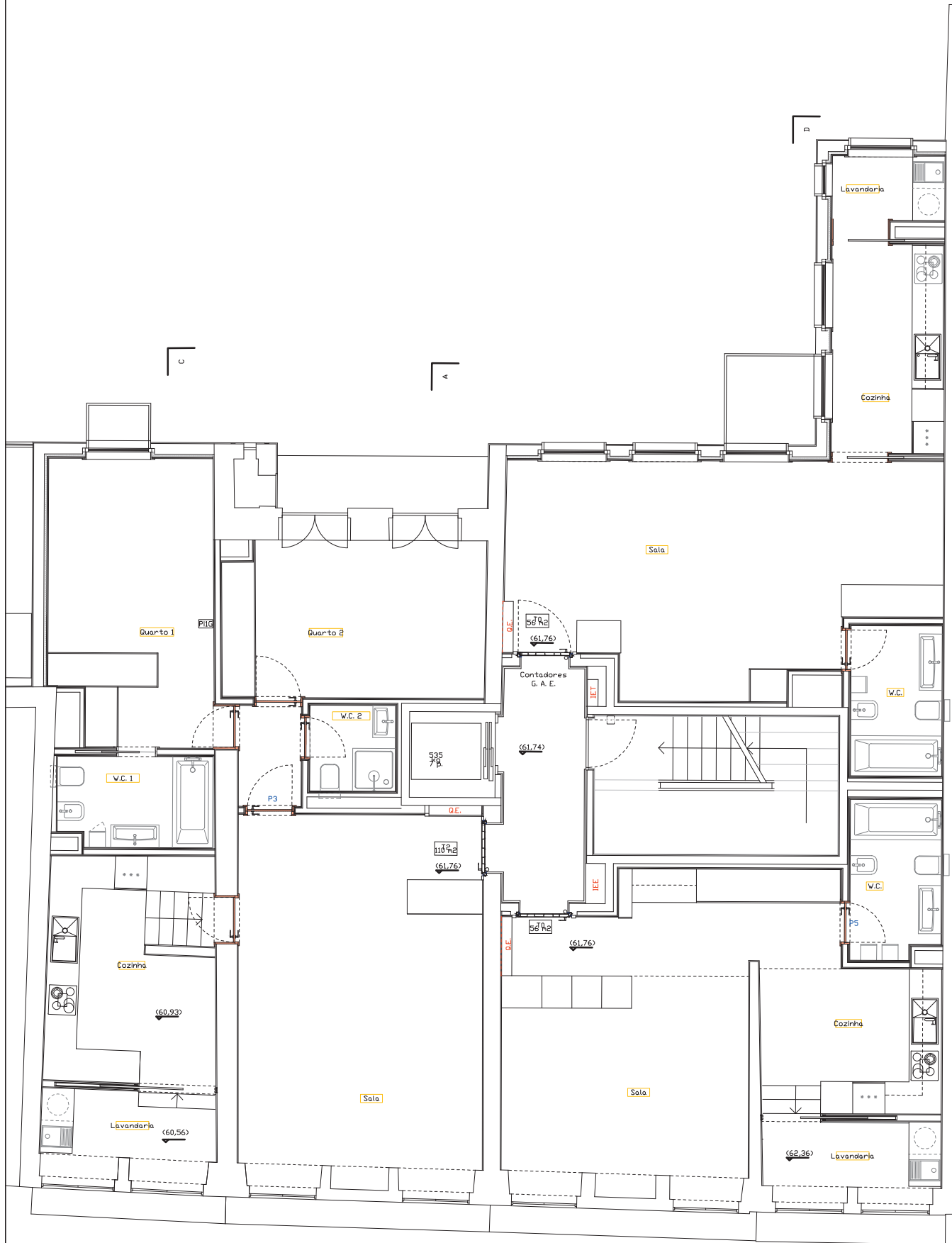


# PLANTA PISO 1





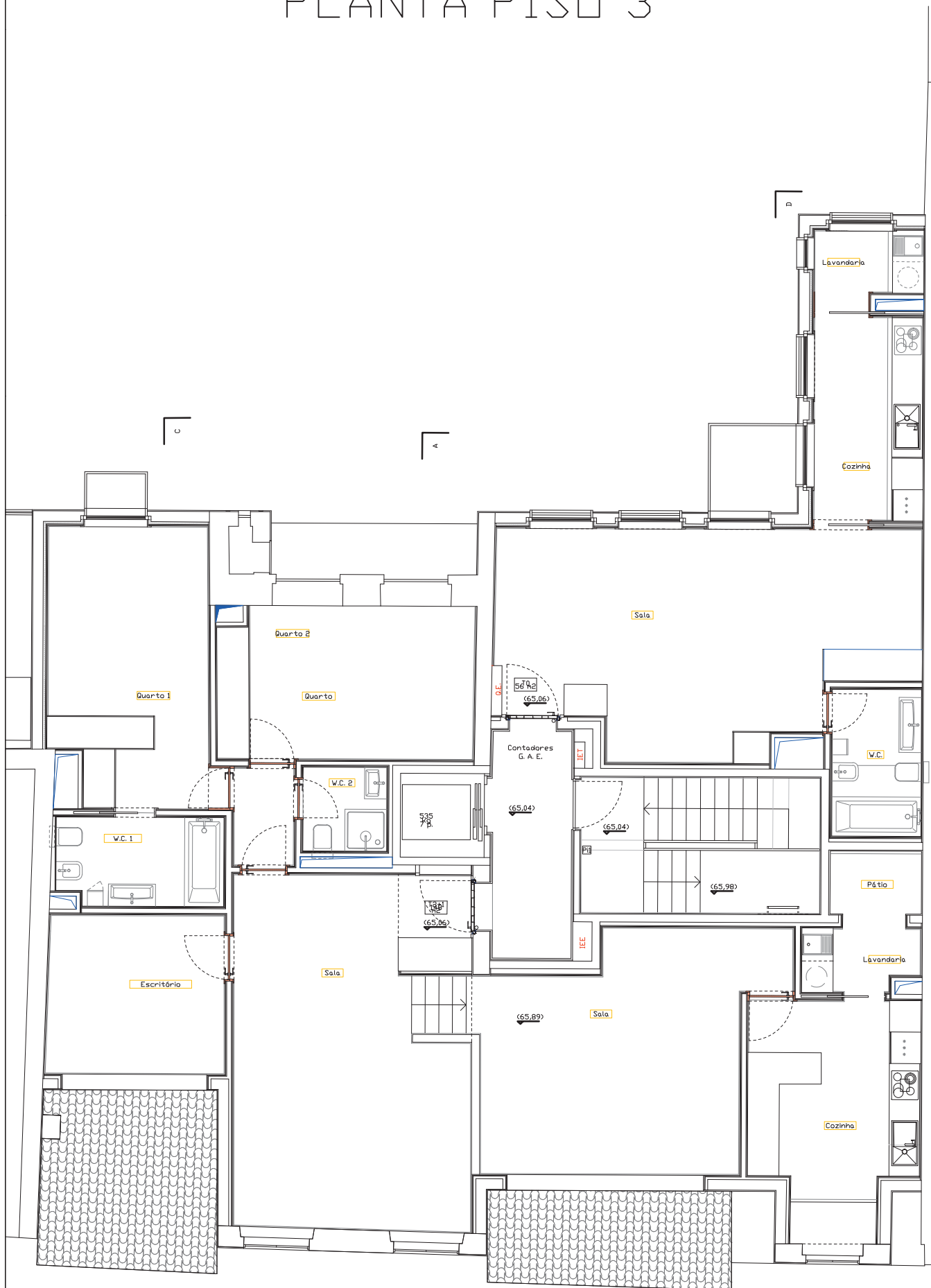
# PLANTA PISO 2



Rua das Flores

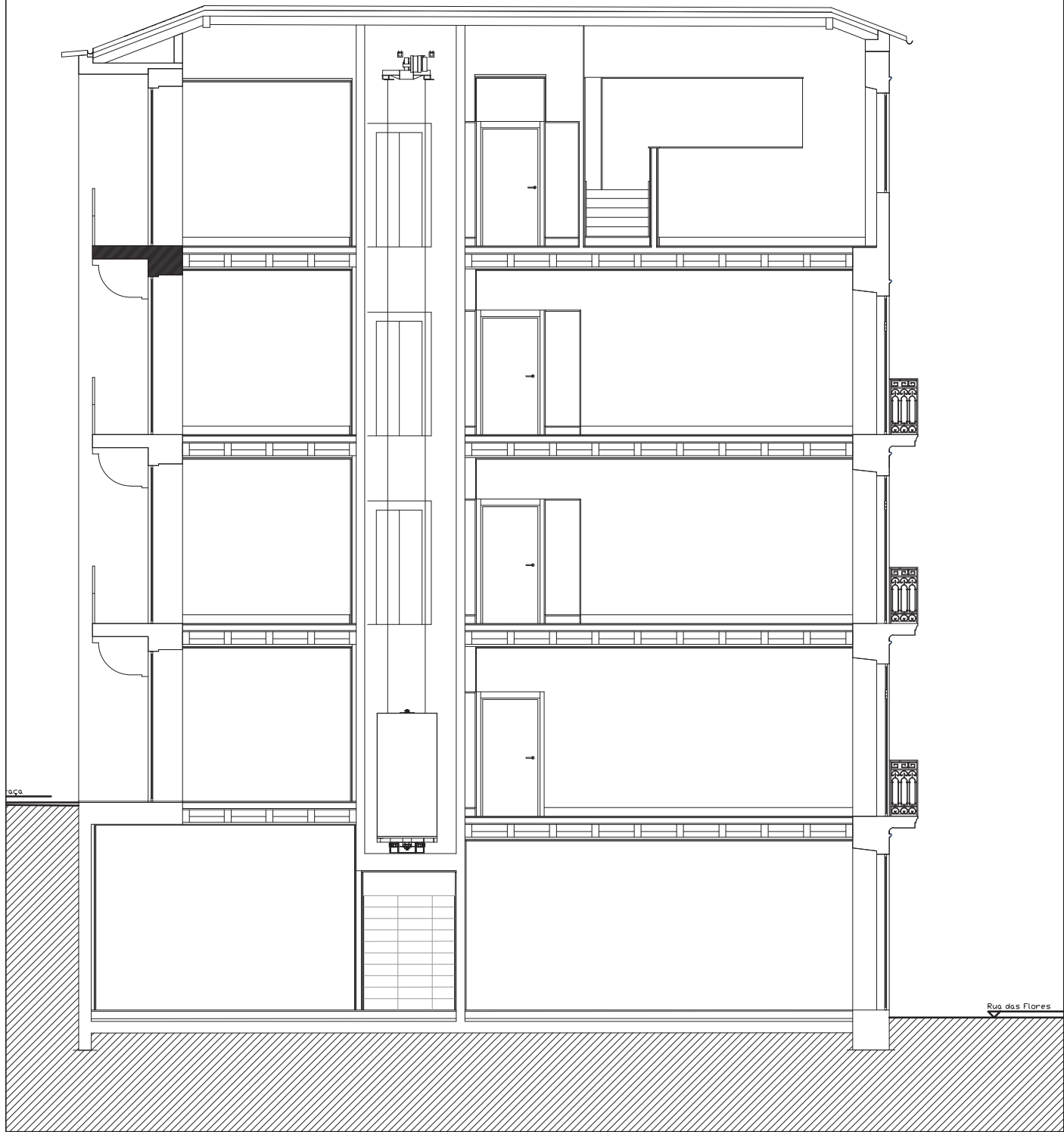


# PLANTA PISO 3





# CORTE A1



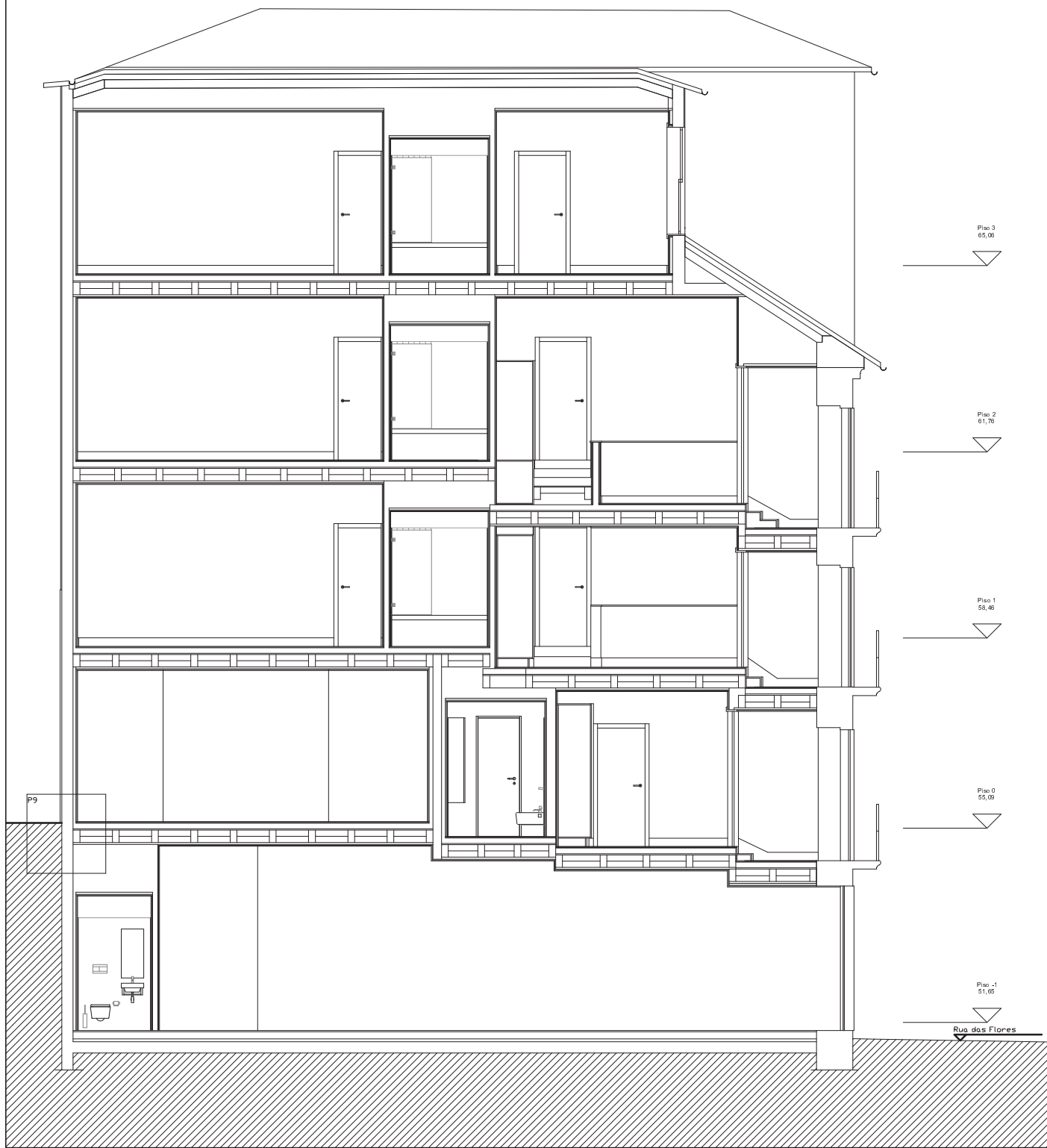


# CORTE B1





# CORTE C1





# CORTE D1





# CORTE E1





# ALÇADO PRINCIPAL





# ALÇADO POSTERIOR





**ANEXO 2**

---

RELATÓRIOS DOS ENSAIOS ACÚSTICOS



## INFINITECH ENGENHARIA

## LABORATÓRIO DE ACÚSTICA

*insitu*

### ISOLAMENTO SONORO A SONS AÉREOS ENTRE COMPARTIMENTOS

### FUNDO ESPECIAL DE INVESTIMENTO IMOBILIÁRIO FECHADO EM REABILITAÇÃO URBANA - FIRST OPORTO URBAN REGENERATION FUND, (F.E.I.I.F.R.U. – FOUR FUND)

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório *insitu*.

Modelo do documento:  
PT.SA.RQ.B.05

Código do relatório:  
SA.13.070

Elaborado por:

Data de emissão:  
2013-06-06

N.º Obra:  
AO.13.120

Página 1 de 10 páginas

## 1. ÍNDICE

1. Índice.....	2
2. Identificação e Descrição do Ensaio .....	3
2.1. Objectivo .....	3
2.2. Identificação do Laboratório .....	3
2.3. Dados Identificadores do Requerente .....	3
2.4. Dados Identificadores do Ensaio.....	4
2.5. Instrumentação Utilizada.....	4
3. Contexto Legislativo .....	5
4. Resumo da Metodologia.....	7
5. Procedimentos de Ensaio .....	7
6. Resultados Obtidos .....	8
6.1. Quadros de Resultados .....	8
6.2. Gráficos de Apresentação dos Resultados .....	9
7. Conclusões.....	10

## 2. IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DO ENSAIO

### 2.1. Objectivo

Com o presente relatório descrevem-se os métodos da medição do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos e a determinação índice de isolamento sonoro  $D_{nT,w}$ , de acordo com as normas NP EN ISO 140-4:2009 e NP EN ISO 717-1:2009.

Este relatório tem por objectivo verificar as soluções de Acústica de Edifícios, exigidas pela republicação do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios aprovado pelo Decreto-Lei n.º 96/2008, de 9 de Junho que entrou em vigor em 1 de Julho de 2008.

### 2.2. Identificação do Laboratório

<b>Nome do laboratório:</b>	<b>insitu</b> – Laboratório de Acústica da Infinitech Engenharia Lda
<b>Morada:</b>	Travessa 5 de Outubro 208-214
<b>Código Postal:</b>	4445-311 Ermesinde
<b>Telefone:</b>	229 758 800

### 2.3. Dados Identificadores do Requerente

<b>Nome do Requerente:</b>	FUNDO ESPECIAL DE INVESTIMENTO IMOBILIÁRIO FECHADO EM REABILITAÇÃO URBANA - FIRST OPORTO URBAN REGENERATION FUND, (F.E.I.I.F.R.U. – FOUR FUND)
<b>Morada do Requerente:</b>	Rua Tomás Ribeiro, 111, 1050-228 Lisboa 1050 - 228 Lisboa

## 2.4. Dados Identificadores do Ensaio

<b>Utilização do Local:</b>	Edifício Habitacional e Misto
<b>Local do Ensaio:</b>	Rua das Flores nº277/279, 281 a 285, 287 a 291 e 293/295 'Operação C4'
<b>Concelho:</b>	Porto
<b>Área Total Receptor:</b>	12,47m <sup>2</sup>
<b>Descrição:</b>	Isolamento a sons aéreos, $D_{nT,w}$
<b>Compartimento Emissor:</b>	Quarto da Habitação do 1º Frente Direita, Fracção AB, 'Operação C4'
<b>Compartimento Receptor:</b>	Quarto da Habitação do 2º Frente Direita, Fracção AE, 'Operação C4' (laje confinante, quarto sobreposto na vertical sobre o emissor)
<b>Data(s) de Realização:</b>	30 de Maio de 2013

## 2.5. Instrumentação Utilizada

O sonómetro-analisador para medição do nível de pressão sonora é de classe de exactidão 1, de acordo com a norma IEC 61672, sendo a marca e modelo do equipamento homologada pelo IPQ. O sonómetro-analisador efectua a medição em campo difuso e os filtros utilizados obedecem aos requisitos definidos na IEC 61260.

O equipamento para medição do tempo de reverberação obedece aos requisitos definidos na norma NP EN ISO 3382-2:2011.

A cadeia de medição é calibrada por utilização de um calibrador acústico de classe 1, de acordo com a norma EN IEC 60942.

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório <b>insitu</b> .	Modelo do documento: PT.SA.RQ.B.05	Código do relatório: SA.13.070
Elaborado por:	Data de emissão: 2013-06-06	N.º Obra: AO.13.120
		Página 4 de 10 páginas

Tipo	Características		Rastreabilidade				
	Marca	Modelo	Normas Aplicáveis	N.º Série	Aprovado	Verificado	Calibrado
<b>Sonómetro Analisador</b>	Cesva	SC-310	IEC 61672	T221738	IPQ 245.70.04.3.45	ISQ 245.70/12.389	ISQ CACV840/12 CACV909/11
<b>Calibrador</b>	Cesva	CB-5	EN 60942	037809	----	ISQ 245.70/12.389	ISQ CACV842/12
<b>Amplificador com Gerador de Ruído</b>	Cesva	AP600	----	T228785	----	----	----
<b>Fonte Sonora omnidireccional</b>	Cesva	BP012	NP EN ISO 140-4:2009, NP EN ISO 3382:2011	T229176	----	----	----

### 3. CONTEXTO LEGISLATIVO

A republicação do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Dec-Lei 96/2008) estabelece no Artigo 5º, do Capítulo II os requisitos acústicos dos edifícios, transcrito parcialmente de seguida:

“Capítulo II

Requisitos acústicos dos edifícios

**Artigo 5º**

Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras

1 - A construção de edifícios que se destinem a usos habitacionais, ou que, para além daquele uso, se destinem também a comércio, indústria, serviços ou diversão, está sujeita ao cumprimento dos seguintes requisitos acústicos:

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório <b>insitu</b> .	Modelo do documento: PT.SA.RQ.B.05	Código do relatório: SA.13.070
Elaborado por:	Data de emissão: 2013-06-06	N.º Obra: AO.13.120
		Página 5 de 10 páginas

b) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{nT,w}$ , entre compartimentos de um fogo, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar de outro fogo, como locais receptores, deverá satisfazer o seguinte:

$$D_{nT,w} \geq 50 \text{ dB}$$

c) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{nT,w}$ , entre locais de circulação comum do edifício, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, deverá satisfazer o seguinte:

i)  $D_{nT,w} \geq 48 \text{ dB}$ ;

ii)  $D_{nT,w} \geq 40 \text{ dB}$ , se o local emissor for um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores;

iii)  $D_{nT,w} \geq 50 \text{ dB}$ , se o local emissor for uma garagem de estacionamento automóvel;

d) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{nT,w}$ , entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, deverá satisfazer o seguinte:

$$D_{nT,w} \geq 58 \text{ dB}$$

6 – O edifício, ou qualquer dos seus fogos, é considerado conforme aos requisitos acústicos aplicáveis, quando, cumulativamente:

a) O valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{2m,nT,w}$  ou  $D_{nT,w}$ , acrescido do factor I no valor de 3 dB, satisfaça o limite regulamentar.

8 – Aos edifícios situados em zonas históricas que sejam objecto de acções de reabilitação, mantendo uma das vocações de uso previstas no presente artigo e a mesma identidade patrimonial, podem aplicar-se os requisitos constantes das alíneas b) a g) do n.º1, com uma tolerância de 3 dB.

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório <b>insitu</b> .	Modelo do documento: PT.SA.RQ.B.05	Código do relatório: SA.13.070
Elaborado por:	Data de emissão: 2013-06-06	N.º Obra: AO.13.120
		Página 6 de 10 páginas

#### 4. RESUMO DA METODOLOGIA

As medições e os cálculos foram efectuadas de acordo com as Normas NP EN ISO 140-4:2009 e NP EN ISO 717-1:2009, foram ainda levadas em conta as metodologias e limites estipulados nas normas jurídicas aplicáveis, nomeadamente a republicação do Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios (Decreto-Lei 96/2008).

O equipamento de medição é de classe de exactidão 1, conforme definido na norma IEC 61672; com conjunto de filtros de 1/3 oitava, a produção do campo sonoro foi efectuada com ruído estável e com espectro contínuo de banda larga designado por ruído branco.

#### 5. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

As medições do isolamento sonoro a sons de condução aérea entre paredes interiores, pavimentos e portas, entre dois compartimentos, foram efectuadas por bandas de um terço de oitava.

Os valores de isolamento em bandas de um terço de oitava são traduzidos por um valor único 'índice', que caracteriza o correspondente comportamento acústico, por aplicação da norma NP EN ISO 717-1:2009.

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório <b>insitu</b> .	Modelo do documento: PT.SA.RQ.B.05	Código do relatório: SA.13.070
Elaborado por:	Data de emissão: 2013-06-06	N.º Obra: AO.13.120
		Página 7 de 10 páginas

## 6. RESULTADOS OBTIDOS

### 6.1. Quadros de Resultados

Frequência [Hz]	Compartimento Receptor			Compartimento Emissor
	Leq [dB] Ruído de Fundo com Fonte Sonora Desligada	Leq [dB] Ruído com Fonte Sonora Ligada	T[s]	Leq [dB] Ruído com Fonte Sonora Ligada
100	26,2	32,0	0,62	70,1
125	26,9	42,0	0,84	78,1
160	16,6	40,2	0,83	80,3
200	17,4	40,5	0,76	80,2
250	21,8	39,7	0,93	85,5
315	23,9	40,4	1,16	91,2
400	25,4	40,1	1,16	90,8
500	22,6	38,5	1,24	90,3
630	20,8	35,7	1,19	90,1
800	18,1	34,2	1,08	88,3
1000	14,6	34,0	1,08	84,6
1250	14,0	35,0	1,00	86,2
1600	15,2	34,6	0,92	89,4
2000	13,9	35,3	0,83	88,5
2500	14,8	40,1	0,74	86,0
3150	15,8	37,5	0,73	83,7

Tabela dos valores das medições efectuadas no ensaio.

## 6.2. Gráficos de Apresentação dos Resultados

Isolamento sonoro normalizado de acordo com a norma NP EN ISO 140-4:2009

Medições do isolamento sonoro insitu entre compartimentos

**Requerente:** F.E.I.I.F.R.U. – FOUR FUND

**Data do ensaio:** 2013-05-30

**Descrição e identificação do edifício e do ensaio realizado:** Isolamento a sons aéreos, DnT,w

**Ensaio realizado, direcção de medição:**

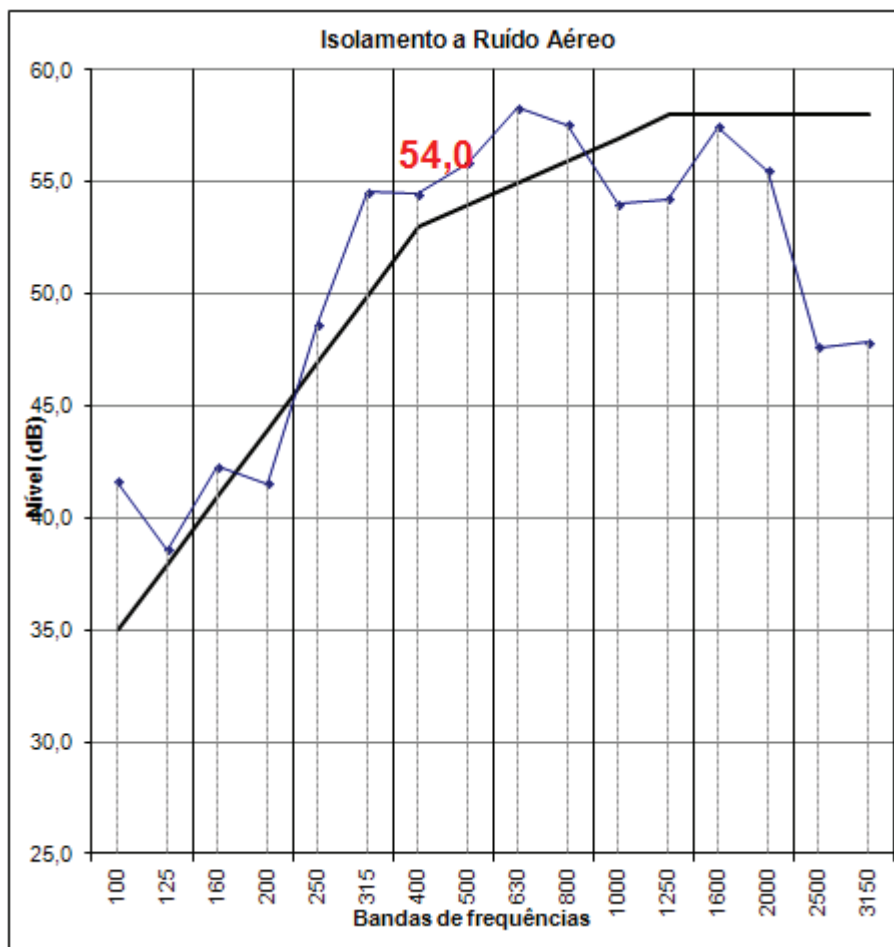
**Volume do compartimento emissor:** 35,92 m<sup>3</sup>

— gama frequências de acordo com NP EN ISO 717-1:2009

**Volume do compartimento receptor:** 36,04 m<sup>3</sup>

— curva referência de acordo com NP EN ISO 717-1:2009

Frequência Hz	DnT (1/3 oitava) dB
50	
63	
80	
100	41,6
125	38,6
160	42,3
200	41,5
250	48,6
315	54,6
400	54,5
500	55,9
630	58,3
800	57,6
1000	54,0
1250	54,2
1600	57,5
2000	55,5
2500	47,6
3150	47,8
4000	
5000	



**Observações:**

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório **insitu**.

Modelo do documento:  
PT.SA.RQ.B.05

Código do relatório:  
SA.13.070

Elaborado por:

Data de emissão:  
2013-06-06

N.º Obra:  
AO.13.120

Página 9 de 10 páginas

## 7. CONCLUSÕES

Ensaio	Compartimento Emissor	Compartimento Receptor	$D_{nT,w}$ [dB]			Cumprimento DL 96/2008
			Valor Calculado, dB	$D_{nT,w} + I$	Limite Regulamentar, dB	
$D_{nT,w}$	Quarto da Habitação do 1º Frente Direita, Fracção AB, 'Operação C4'	Quarto da Habitação do 2º Frente Direita, Fracção AE, 'Operação C4' (laje confinante, quarto sobreposto na vertical sobre o emissor)	54	<b>57</b>	$\geq 50$	<b>Cumpre</b>

I – Índice de incerteza de 3dB conforme o descrito no artigo 5.º do Dec. Lei 96/2008

Verifica-se que o índice de isolamento a sons de condução aérea  $D_{nT,w}$  calculado, **cumpre** o disposto na alínea b) do nº 1 do artigo 5º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, aprovado pelo DL 129/2002, de 11 de Maio, alterado e republicado pelo do DL n.º 96/2008, de 9 Junho.

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na integra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório **insitu**.

Desenvolvimento do trabalho, levado a efeito pelo laboratório de acústica **insitu** da empresa Infinittech Engenharia Lda.

06 de Junho de 2013

Verificado e Aprovado

Eduardo Manuel das Neves Fontes (Eng.º)

Director do Laboratório

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na integra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório <b>insitu</b> .	Modelo do documento: PT.SA.RQ.B.05	Código do relatório: <b>SA.13.070</b>
Elaborado por:	Data de emissão: <b>2013-06-06</b>	N.º Obra: AO.13.120
		Página 10 de 10 páginas

## INFINITECH ENGENHARIA

## LABORATÓRIO DE ACÚSTICA

*insitu*

### ISOLAMENTO SONORO A SONS DE PERCUSSÃO

### FUNDO ESPECIAL DE INVESTIMENTO IMOBILIÁRIO FECHADO EM REABILITAÇÃO URBANA - FIRST OPORTO URBAN REGENERATION FUND, (F.E.I.I.F.R.U. – FOUR FUND)

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório <b>insitu</b> .	Modelo do documento: PT.SP.RQ.B.06	Código do relatório: SP.13.075
Elaborado por:	Data de emissão: 2013-06-06	N.º Obra: AO.13.120
		Página 1 de 10 páginas

## 1. ÍNDICE

1. Índice .....	2
2. Identificação e descrição do ensaio.....	3
2.1. Objectivo .....	3
2.2. Identificação do Laboratório .....	3
2.3. Dados Identificadores do Requerente.....	3
2.4. Dados Identificadores do Ensaio .....	4
2.5. Instrumentação Utilizada .....	4
3. Contexto Legislativo .....	5
4. Resumo da Metodologia .....	7
5. Procedimentos de Ensaio .....	7
6. Resultados Obtidos.....	8
6.1. Quadros de Resultados.....	8
6.2. Gráfico de apresentação dos resultados .....	9
7. Conclusões .....	10

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório **insitu**.

Modelo do documento:  
PT.SP.RQ.B.06

Código do relatório:  
SP.13.075

Elaborado por:

Data de emissão:  
2013-06-06

N.º Obra:  
AO.13.120

Página 2 de 10 páginas

## 2. IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DO ENSAIO

### 2.1. Objectivo

Com o presente relatório descrevem-se os métodos da medição do isolamento sonoro a sons de percussão de pavimentos e determinação do índice de isolamento sonoro  $L'_{nT,w}$  de acordo com as normas NP EN ISO 140-7:2008 e NP EN ISO 717-2:2009.

Este relatório tem por objectivo verificar as soluções de Acústica de Edifícios, exigidas pela republicação do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios aprovado pelo Decreto-Lei n.º 96/2008, de 9 de Junho que entrou em vigor em 1 de Julho de 2008.

### 2.2. Identificação do Laboratório

<b>Nome do laboratório:</b>	<b>insitu</b> – Laboratório de Acústica da Infnitech Engenharia Lda
<b>Morada:</b>	Travessa 5 de Outubro 208-214
<b>Código Postal:</b>	4445-311 Ermesinde
<b>Telefone:</b>	229 758 800

### 2.3. Dados Identificadores do Requerente

<b>Nome do Requerente:</b>	FUNDO ESPECIAL DE INVESTIMENTO IMOBILIÁRIO FECHADO EM REABILITAÇÃO URBANA - FIRST OPORTO URBAN REGENERATION FUND, (F.E.I.I.F.R.U. – FOUR FUND)
<b>Morada do Requerente:</b>	Rua Tomás Ribeiro, 111, 1050-228 Lisboa  1050 - 228 Lisboa

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório <b>insitu</b> .	Modelo do documento: PT.SP.RQ.B.06	Código do relatório: SP.13.075	
Elaborado por:	Data de emissão: 2013-06-06	N.º Obra: AO.13.120	Página 3 de 10 páginas

## 2.4. Dados Identificadores do Ensaio

<b>Utilização do Local:</b>	Edifício Habitacional e Misto
<b>Local do Ensaio:</b>	Rua das Flores nº277/279, 281 a 285, 287 a 291 e 293/295 'Operação C4'
<b>Concelho:</b>	Porto
<b>Área Total Receptor:</b>	29,59m <sup>2</sup>
<b>Descrição:</b>	Isolamento a sons de percussão LnT,w
<b>Compartimento Emissor:</b>	Quarto da Habitação do 1º Frente Direita, Fracção AB, 'Operação C4'
<b>Compartimento Receptor:</b>	Quarto da Habitação do 2º Frente Direita, Fracção AE, 'Operação C4' (laje confinante, quarto sobreposto na vertical sobre o emissor)
<b>Data(s) de Realização:</b>	30 de Maio de 2013

## 2.5. Instrumentação Utilizada

O sonómetro-analisador para medição do nível de pressão sonora é de classe de exactidão 1, de acordo com a norma IEC 61672, sendo a marca e modelo do equipamento homologada pelo IPQ. O sonómetro-analisador efectua a medição em campo difuso e os filtros utilizados obedecem aos requisitos definidos na IEC 61260.

A máquina de impactos obedece aos requisitos definidos na norma NP EN ISO 140-7:2008.

O equipamento para medição do tempo de reverberação obedece aos requisitos definidos na norma NP EN ISO 3382-2:2011.

A cadeia de medição é calibrada por utilização de um calibrador acústico de classe 1, de acordo com a norma EN IEC 60942.

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório <b>insitu</b> .	Modelo do documento: PT.SP.RQ.B.06	Código do relatório: SP.13.075
Elaborado por:	Data de emissão: 2013-06-06	N.º Obra: AO.13.120
		Página 4 de 10 páginas

Tipo	Características		Rastreabilidade				
	Marca	Modelo	Homologação	N.º Série	Aprovado	Verificado	Calibrado
<b>Sonómetro Analisador</b>	Cesva	SC-310	IEC 61672	T221738	IPQ 245.70.04.3.45	ISQ 245.70/12.389	ISQ CACV840/12 CACV909/11
<b>Calibrador</b>	Cesva	CB-5	EN 60942	037809	-----	ISQ 245.70/12.389	ISQ CACV842/12
<b>Máquina de Impactos</b>	Cesva	MI05	NP EN ISO 140-7:2008	T231792	-----	-----	ISQ EDIM745/11
<b>Fonte Sonora omnidireccional</b>	Cesva	BP012	NP EN ISO 140-4:2009, NP EN ISO 3382:2011	T229176	-----	-----	-----

### 3. CONTEXTO LEGISLATIVO

A republicação do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (Dec-Lei 96/2008) estabelece no Artigo 5.º do Capítulo II os requisitos acústicos dos edifícios habitacionais e mistos e unidades hoteleiras, transcrito parcialmente de seguida:

“Capítulo II

Requisitos acústicos dos edifícios

**Artigo 5º**

Edifícios habitacionais e mistos e unidades hoteleiras

1— Os edifícios e as suas fracções que se destinem a usos habitacionais ou que, ou que, para além daquele uso, se destinem também a comércio, indústria, serviços ou diversão, estão sujeitos ao cumprimento dos seguintes requisitos acústicos:

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório <b>insitu</b> .		Modelo do documento: PT.SP.RQ.B.06	Código do relatório: SP.13.075
Elaborado por:	Data de emissão: 2013-06-06	N.º Obra: AO.13.120	Página 5 de 10 páginas

e) No interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão,  $L'_{nT,w}$ , proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos dos outros fogos ou de locais de circulação comum do edifício, como locais emissores, deverá satisfazer o seguinte:

$$L'_{nT,w} \leq 60 \text{ dB}$$

f) A disposição estabelecida na alínea anterior não se aplica, se o local emissor for um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores;

g) No interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão,  $L'_{nT,w}$ , proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, deve satisfazer o seguinte:

$$L'_{nT,w} \leq 50 \text{ dB}$$

6 – O edifício, ou qualquer dos seus fogos, é considerado conforme aos requisitos acústicos aplicáveis, quando, cumulativamente:

b) O valor obtido para o índice de isolamento sonoro a sons de percussão,  $L'_{nT,w}$ , diminuído do factor I no valor de 3 dB, satisfaça o limite regulamentar.

8 – Aos edifícios situados em zonas históricas que sejam objecto de acções de reabilitação, mantendo uma das vocações de uso previstas no presente artigo e a mesma identidade patrimonial, podem aplicar-se os requisitos constantes das alíneas b) a g) do n.º1, com uma tolerância de 3 dB.

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório <b>insitu</b> .	Modelo do documento: PT.SP.RQ.B.06	Código do relatório: SP.13.075
Elaborado por:	Data de emissão: 2013-06-06	N.º Obra: AO.13.120
		Página 6 de 10 páginas

#### 4. RESUMO DA METODOLOGIA

As medições e os cálculos foram efectuadas de acordo com as Normas NP EN ISO 140-7:2008 e NP EN ISO 717-2:2009, foram ainda levadas em conta as metodologias e limites estipulados nas normas jurídicas aplicáveis, nomeadamente a republicação do Regulamento dos Requisitos Acústicos de Edifícios (Decreto-Lei 96/2008).

O equipamento de medição é de classe de exactidão 1, conforme definido na norma IEC 61672; com conjunto de filtros de 1/3 oitava, a produção do campo sonoro foi efectuada com ruído estável e com espectro contínuo de banda larga designado por ruído branco.

A máquina de impactos obedece aos requisitos definidos na norma NP EN ISO 140-7:2008.

#### 5. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

As medições do isolamento sonoro a sons de percussão entre dois compartimentos, foram efectuadas por bandas de um terço de oitava.

Os valores de isolamento em bandas de um terço de oitava são traduzidos por um valor único 'índice', que caracteriza o correspondente comportamento acústico, por aplicação da norma NP EN ISO 717-2:2009.

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório <b>insitu</b> .		Modelo do documento: PT.SP.RQ.B.06	Código do relatório: SP.13.075
Elaborado por:	Data de emissão: 2013-06-06	N.º Obra: AO.13.120	Página 7 de 10 páginas

## 6. RESULTADOS OBTIDOS

### 6.1. Quadros de Resultados

Frequência [Hz]	Compartimento Receptor		
	Leq [dB] Ruído de Fundo	Leq [dB] Máquina de Percussão Ligada	T[s]
100	29,8	44,2	0,62
125	31,8	49,2	0,84
160	29,4	51,6	0,83
200	35,3	53,1	0,76
250	31,6	50,5	0,93
315	26,6	52,4	1,16
400	27,2	50,3	1,16
500	27,3	48,3	1,24
630	28,0	47,9	1,19
800	26,1	47,1	1,08
1000	27,7	44,9	1,08
1250	25,7	40,0	1,00
1600	27,2	36,7	0,92
2000	26,1	34,1	0,83
2500	28,2	30,8	0,74
3150	24,6	28,8	0,73

Tabela dos valores das medições efectuadas no ensaio.

## 6.2. Gráfico de apresentação dos resultados

Nível normalizado do ruído de percussão de acordo com a norma NP EN ISO 140-7:2008

Medições de ruído de percussão em pavimentos

Requerente: F.E.I.I.F.R.U. – FOUR FUND

Data do ensaio: 2013-05-30

Descrição e identificação do edifício e do ensaio realizado: Isolamento a sons de percussão, LnT,w

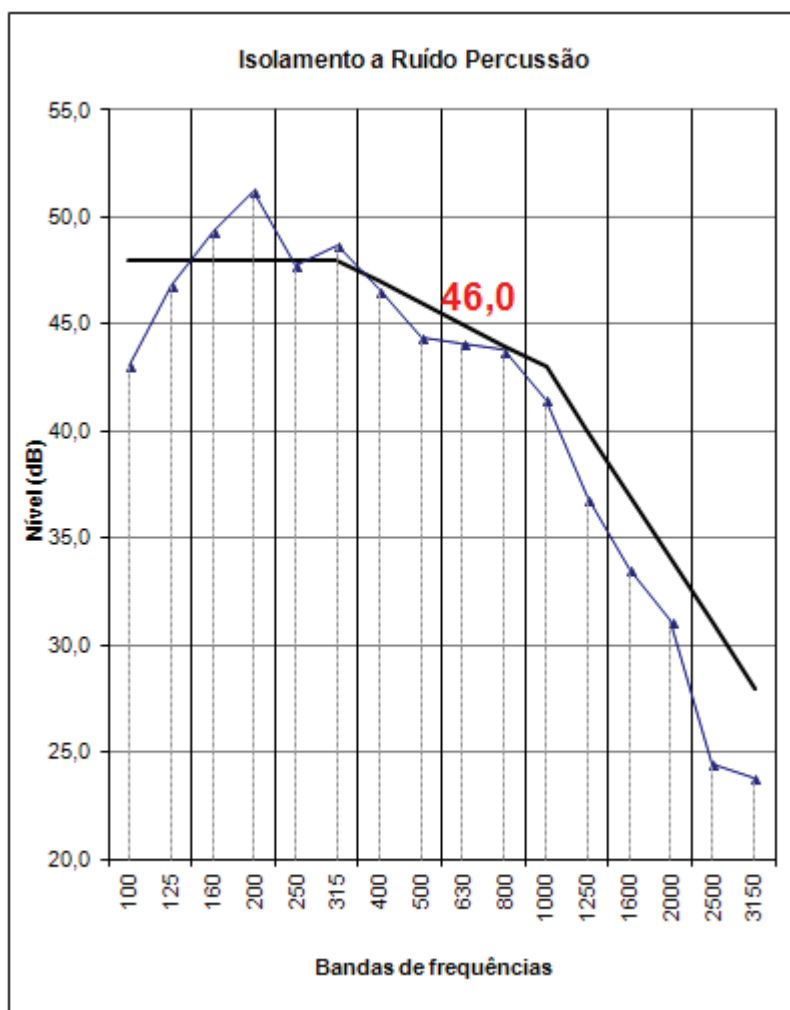
Ensaio realizado, direcção de medição:

Volume do compartimento receptor: 36,04 m<sup>3</sup>

— gama frequências de acordo com NP EN ISO 717-2:2009

— curva de referência de acordo com NP EN ISO 717-2:2009

Frequência Hz	LnT (1/3 oitava) dB
50	
63	
80	
100	43,1
125	46,8
160	49,4
200	51,2
250	47,8
315	48,7
400	46,6
500	44,4
630	44,1
800	43,8
1000	41,4
1250	36,8
1600	33,5
2000	31,1
2500	24,4
3150	23,8
4000	
5000	



Observações:

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório **insitu**.

Modelo do documento:  
PT.SP.RQ.B.06

Código do relatório:  
SP.13.075

Elaborado por:

Data de emissão:  
2013-06-06

N.º Obra:  
AO.13.120

Página 9 de 10 páginas

## 7. CONCLUSÕES

Ensaio	Compartimento Emissor	Compartimento Receptor	Tipo pavimento do emissor	L' nT,w [dB]			Cumprimento DL 96/2008
				Valor Calculado, dB	L' nT,w - I	Limite Regulamentar, dB	
L' nT,w	Quarto da Habitação do 1º Frente Direita, Fração AB, 'Operação C4'	Quarto da Habitação do 2º Frente Direita, Fração AE, 'Operação C4' (laje confinante, quarto sobreposto na vertical sobre o emissor)	Pavimento em Madeira	46	<b>43</b>	≤ 60	<b>Cumpre</b>

I – Índice de incerteza de 3dB conforme o descrito no artigo 5.º do Dec. Lei 96/2008

Verifica-se que o índice de isolamento a sons de percussão L' nT,w calculado, **cumpre** o disposto na alínea e) do nº 1 artigo 5º do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, aprovado pelo DL 129/2002, de 11 de Maio, alterado e republicado pelo do DL n.º 96/2008, de 9 Junho.

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório **insitu**.

Desenvolvimento do trabalho, levado a efeito pelo laboratório de acústica **insitu** da empresa Infinitech Engenharia Lda.

06 de Junho de 2013

Verificado e Aprovado

Eduardo Manuel das Neves Fontes (Eng.º)

Director do Laboratório

Os valores apresentados correspondem aos locais ensaiados e intervalos de tempo de medição indicados. Este Relatório só pode ser reproduzido na íntegra, excepto quando haja autorização expressa do laboratório <b>insitu</b> .		Modelo do documento: PT.SP.RQ.B.06	Código do relatório: SP.13.075
Elaborado por:	Data de emissão: 2013-06-06	N.º Obra: AO.13.120	Página 10 de 10 páginas