



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Jorge Miguel Carvalho da Silva

Potencialidades de Elementos Pré-fabricados de Madeira na Reabilitação

Tese de Mestrado

Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Jorge Manuel Branco

dezembro de 2014

*“ ... Plus que des idées,
des concepts
et des performances ! ”*

CBS-CBT

AGRADECIMENTOS

Findada a dissertação, torna-se perentório mencionar algumas pessoas que foram cruciais durante todo o processo para a concretização deste trabalho.

Os meus tios, pelos valores que me transmitiram e pela oportunidade e liberdade de traçar o meu próprio caminho. A minha família, o meu obrigado por todo o apoio e carinho dado ao longo do meu percurso académico.

A minha namorada, Cláudia Pinheiro, pelos conhecimentos ao nível da execução de trabalhos escritos, bem como por todo o apoio, incentivo, dedicação e imensa paciência demonstrada nos momentos mais difíceis.

A empresa fmMagalhães onde foi concretizado o Estágio Profissional, a qual foi potencializadora do meu crescimento profissional, tendo-me permitido a aquisição de diversas aprendizagens essenciais para a execução desta dissertação. O Engenheiro Francisco Magalhães, pelos ensinamentos transmitidos, pelo apoio e pela facilidade a nível de horários para aspetos relacionados com o mestrado e a tese.

Por fim, queria demonstrar a minha gratidão ao Professor Doutor Jorge Manuel Branco, meu orientador, pela paixão que demonstra pela construção em madeira, em parte responsável pela minha escolha no tema, e pela disponibilidade e compreensão com que me orientou durante os últimos meses.

A todos, o meu sincero obrigado.

RESUMO

A madeira alcançou, desde o início da vida do Homem, bastante relevância como material, dado as excelentes características que detém, especialmente, por ser natural e totalmente reciclável. Hoje, face aos diversos materiais, apresenta-se novamente com distinção, pois vai de encontro à visão renovada e ambientalista que a Construção Civil possui, apoiada nas crescentes preocupações ambientais e noções de sustentabilidade, preservação de edifícios e novas técnicas de construção emergentes. Na criação de novos materiais à base de madeira sobressai o facto de estes serem elementos pré-fabricados, os quais permitem uma rápida montagem e a preservação do edifício. O interesse deste estudo surgiu assim com o intuito de aumentar o nível de conhecimento nestas duas vertentes atualmente em voga, pela identificação das potencialidades dos elementos pré-fabricados de madeira na reabilitação. Para tal, utilizou-se como estudo de caso um edifício urbano genuíno da cidade do Porto, em vias de reabilitação, que representou uma medida importante no grau de qualidade das reabilitações futuras e na melhoria das questões ambientais, económicas e sociais. Este estudo leva, através dos resultados obtidos com os sistemas pré-fabricados, a valores jamais conseguidos quando comparados aos sistemas tradicionais, sendo uma mais-valia no âmbito da Construção Civil e da reabilitação sustentável.

Palavras-chave: Madeira; Sustentabilidade; Reabilitação; Pré-fabricados; Potencialidades.

ABSTRACT

The wood has achieved, since the beginning of Men's life, quite relevance as a material, due to its excellent characteristics, specially, for being natural and completely recyclable. Nowadays, comparing with various materials, it presents again with distinction, because it meets the renewed and environmentalist vision that Civil Engineering has, relying on the growing environmental concerns and notions of sustainability, preservation of buildings and new emerging construction techniques. In the creation of new materials based on wood stood out the fact that they are prefabricated elements, allowing a rapid assembly and also the building preservation. The interest of this study emerges to increase the knowledge level in this two strands currently in vogue, identifying the potential of prefabricated wooden elements in rehabilitation. To this end, was used as a case study, a genuine urban building in the city of Oporto, in the way to start its rehabilitation, which represented an important step in the degree of quality of the future rehabilitation, and improvement of environmental, economic and social issues. This study leads, through the obtained results with pre-made systems, to values never achieved when compared to traditional systems, with an added value within the Civil Construction and sustainable rehabilitation.

Keywords: Wood; Sustainability; Rehabilitation; Prefabricated; Potential.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Objetivos.....	18
1.2. Metodologia	18
1.3. Estruturação	19
2. ESTADO DA ARTE	21
2.1. Matéria-Prima	21
2.2. Evolução Histórica.....	23
2.3. Elementos de Madeira Pré-Fabricada.....	25
2.3.1. Aglomerados de madeira	26
2.3.2. Secções estruturais de madeira	33
2.3.3. Sistemas Pré-Fabricados de Madeira.....	40
2.4. Sustentabilidade.....	47
2.4.1. Reabilitação.....	48
2.4.2. Contributo da Madeira como Solução Sustentável	49
2.5. Vantagens e Inconvenientes	52
3. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS EM EDIFÍCIOS	55
3.1. Descrição Arquitetónica e do Sistema Construtivo	57
3.2. Considerações Técnicas	64
4. ESTUDO DE CASO	71
4.1. Comparação relative aos Sistemas Convencionais, ambos como Solução Construtiva de Reabilitação.....	76
4.1.1. Laje de Pavimento	76
4.1.2. Parede Divisória Interior.....	92
4.1.3. Cobertura.....	104
4.2. Análise dos Dados Obtidos	117
5. CONCLUSÃO	131
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
ANEXOS	137
ANEXO I – PLANTA DO EDIFÍCIO ESTUDO DE CASO FORNECIDA PELA EQUIPA DE PROJETO	139
ANEXO II – CORTE DO EDIFÍCIO ESTUDO DE CASO FORNECIDO PELA EQUIPA DE PROJETO.....	141
ANEXO III – ALÇADO DO EDIFÍCIO ESTUDO DE CASO FORNECIDO PELA EQUIPA DE PROJETO.....	143

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas por uso de solo.....	22
Figura 2 - Áreas totais por espécie florestal em Portugal.....	23
Figura 3 - Evolução das tipologias de edifícios em Portugal.....	24
Figura 4 - Aspeto da estilha.....	26
Figura 5 - Painel Aglomerado de Partículas	27
Figura 6 - Produção de placas OSB.....	28
Figura 7 - Exemplo de aplicação dos painéis OSB.....	28
Figura 8 - Aspeto final das Placas de OSB	30
Figura 9 - MDF, aglomerado de fibras	31
Figura 10 - Vários painéis de Fibra Dura.....	33
Figura 11 - Fases da produção da Madeira Lamelada Colada	34
Figura 12 - Aspeto de um elemento de Madeira Lamelada Colada	34
Figura 13 - Aspeto de um contraplacado	36
Figura 14 - Fases da produção da <i>Laminated Veneer Lumber</i>	37
Figura 15 - Fases da produção da <i>Parallel Strand Lumber</i>	38
Figura 16 - Fases da produção da <i>Laminated Strand Lumber</i>	39
Figura 17 - Aplicação de Vigas I em obra	39
Figura 18 - Fases de produção da Vigas I.....	40
Figura 19 - Aspeto de um painel de CLT	41
Figura 20 - Aplicação de painel CLT em obra	41
Figura 21 - Aspeto de uma secção de um elemento <i>O'Portune</i>	42
Figura 22 - Secção de um elemento <i>O'Portune</i> com fixação aparafusada e cobertura OSB	42
Figura 23 - Aplicação do sistema <i>O'Portune</i> na reabilitação de uma habitação.....	42
Figura 24 - Aspeto final da laje <i>O'Portune</i> sem o uso de materiais de acabamento	43
Figura 25 - Duas secções de elementos <i>Wenus</i>	43
Figura 26 - Aplicação de um sistema <i>Wenus</i> num processo de reabilitação	44
Figura 27 - Diferentes tipos de Sistema Véga	44
Figura 28 - Secções <i>Kielsteg</i>	45
Figura 29 - Aspeto da laje <i>Kielsteg</i> com tiras de contraplacado e de OBS, respetivamente	45
Figura 30 - Aplicação de um sistema <i>Kielsteg</i>	45
Figura 31 - Protótipo do sistema Et3	46
Figura 32 – Energia necessária para produção de materiais.....	50
Figura 33 - Ciclo de vida da Madeira	51
Figura 34 – Vantagens da Madeira	52

Figura 35 – Desvantagens da Madeira	53
Figura 36 – Diversas soluções construtivas	55
Figura 37 – Soluções construtivas à base de elementos pré-fabricados de madeira	56
Figura 38 - Exemplo dos diferentes tipos de fundação	59
Figura 39 - Fachada de um edifício recorrente da cidade do Porto e parede de meação pelo interior.....	59
Figura 40 - Paredes em tabique	60
Figura 41 - Exemplo de paredes interiores pelo sistema de "Gaiola Pombalina"	60
Figura 42 - Troncos de madeira apoiados nas paredes de meação com revestimento de soalho	61
Figura 43 - Constituição e acabamento de tetos	61
Figura 44 - Escadaria de um edifício típico	62
Figura 45 - Diversidade de tipologias de coberturas	62
Figura 46 - Constituição da estrutura de cobertura	63
Figura 47 – Agentes de deterioração.....	64
Figura 48 – Processo de formação da árvore com efeito pejorativo sob a própria madeira	65
Figura 49 - Demonstração da ventilação de uma viga.....	67
Figura 50 – Medidas preventivas de manutenção para o caso das infiltrações pelas coberturas	67
Figura 51 - “Quarteirão Ferreira Borges”	72
Figura 52 - Fachada do Edifício em estudo voltada para a Rua Sousa Viterbo	72
Figura 53 - Vista aérea do Edifício em estudo.....	73
Figura 54 - Fotografias demonstrativas da degradação interior do edifício	73
Figura 55 - Fotografia demonstrativa da estrutura de pavimento em madeira e as paredes divisórias em tabique	74
Figura 56 - Fotografia demonstrativa da estrutura de cobertura e do estado da claraboia existente.....	74
Figura 57 - Fotografia demonstrativa das patologias causadas pela degradação da claraboia e o estado atual da cobertura	74
Figura 58 - Fotografia demonstrativa das enormes e evidentes marcas de infiltrações de água	75
Figura 59 - Fotografias demonstrativas do estado atual de um compartimento da habitação e outra vista da claraboia	75
Figura 60 - Peça desenhada da habitação do edifício em estudo, com demarcação da área de intervenção .	76
Figura 61 - Execução de uma viga de betão armado em parede de alvenaria de pedra e Laje aligeirada ligada à viga de betão armado	80
Figura 62 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem uma laje aligeirada	80
Figura 63 - Peça do sistema “ <i>O’Portune</i> ” e aspeto final do teto produzido pelo sistema.....	82
Figura 64 - Marcação da zona de corte da laje na planta	83
Figura 65 - Corte pormenorizado da solução pré-fabricada do sistema “ <i>O’Portune</i> ”	84
Figura 66 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem o sistema “ <i>O’Portune</i> ”	84
Figura 67 - Peça do sistema “ <i>Wenus</i> ” e aspeto final do teto produzido pelo sistema.....	85

Figura 68 - Marcação da zona de corte da laje na planta	87
Figura 69 - Corte pormenorizado da solução pré-fabricada do sistema “Wenus”	87
Figura 70 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem o sistema “Wenus”	87
Figura 71 - Peça de um sistema “CLT” e aspeto final do teto produzido pelo sistema	89
Figura 72 - Marcação da zona de corte da laje na planta	90
Figura 73 - Corte pormenorizado da solução pré-fabricada do sistema “CLT”	91
Figura 74 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem o sistema “CLT”	91
Figura 75 - Peça desenhada da habitação do edifício de estudo, com demarcação da área de intervenção ..	92
Figura 76 - Parede divisória com tijolo furado.....	93
Figura 77 - Execução de reboco de parede divisória interior.....	93
Figura 78 - Marcação da zona de corte da parede divisória interior na planta.....	95
Figura 79 - Corte pormenorizado da solução tradicional de alvenaria de tijolo	96
Figura 80 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem a solução tradicional de parede divisória interior	96
Figura 81 - Aspeto de uma parede constituída pelo sistema “Wenus”	98
Figura 82 - Marcação da zona de corte da parede divisória interior na planta.....	99
Figura 83 - Corte pormenorizado da solução pré-fabricada do sistema “Wenus”	99
Figura 84 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem o sistema pré-fabricado “Wenus” como parede divisória interior	100
Figura 85 - Peça de um sistema “CLT” e aspeto final da parede divisória interior produzido pelo sistema ..	101
Figura 86 - Marcação da zona de corte da parede divisória interior na planta.....	102
Figura 87 - Corte pormenorizado da solução pré-fabricada do sistema “CLT”	103
Figura 88 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem o sistema pré-fabricado “CLT” como parede divisória interior	103
Figura 89 - Peça desenhada da habitação do edifício de estudo, com demarcação da área de intervenção.	104
Figura 90 - Marcação da zona de corte da cobertura na planta.....	107
Figura 91 - Imagem da solução de cobertura tradicional.....	107
Figura 92 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem a cobertura tradicional.....	107
Figura 93 - Aspeto final da cobertura produzida pelo sistema “Véga”	109
Figura 94 - Montagem, transporte e colocação de uma cobertura “Véga”	111
Figura 95 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem a cobertura “Véga”	111
Figura 96 - Peça de um sistema “CLT” e aspeto final do teto produzido pelo sistema	113
Figura 97 - O belo acabamento de uma cobertura de solução pré-fabricada do sistema “CLT”	115
Figura 98 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem a cobertura “CLT”	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens do painel aglomerado de partículas	27
Tabela 2 – Tipos de Placas OSB	29
Tabela 3 – Tipos de Placas MDF.....	32
Tabela 4 – Tipos de Placas LVL	37
Tabela 5 – Tipos de Classes de Risco	68
Tabela 6 – Materiais da Laje Aligeirada.....	77
Tabela 7 – Materiais da Viga (Ligação Parede Alvenaria – Laje Aligeirada)	78
Tabela 8 – Mão de Obra da Laje Aligeirada	78
Tabela 9 – Mão de Obra da Viga (Ligação Parede Alvenaria – Laje Aligeirada)	78
Tabela 10 – Materiais de Acabamento da Laje Aligeirada	79
Tabela 11 – Mão de Obra para Acabamento da Laje Aligeirada	79
Tabela 12 – Custos para a Laje Aligeirada	79
Tabela 13 – Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico.....	81
Tabela 14 – Material, Mão-de-obra e Rendimento para a Laje Sistema Pré-Fabricado “ <i>O’Portune</i> ”	82
Tabela 15 – Materiais para o Acabamento da Laje “ <i>O’Portune</i> ”	82
Tabela 16 – Mão de Obra para Acabamento da Laje “ <i>O’Portune</i> ”	83
Tabela 17 – Custo do Acabamento da Laje “ <i>O’Portune</i> ”	83
Tabela 18 – Custo da Laje Sistema Pré-Fabricado “ <i>O’Portune</i> ” com Acabamento	83
Tabela 19 – Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico.....	84
Tabela 20 – Material, Mão de Obra e Rendimento da Laje Sistema Pré-Fabricado “ <i>Wenus</i> ”	85
Tabela 21 – Material de Acabamento da Laje “ <i>Wenus</i> ”	86
Tabela 22 – Mão de Obra para Acabamento da Laje “ <i>Wenus</i> ”	86
Tabela 23 – Custo do Acabamento da Laje “ <i>Wenus</i> ”	86
Tabela 24 – Custo da Laje Sistema Pré-Fabricado “ <i>Wenus</i> ” com Acabamento.....	86
Tabela 25 – Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico.....	88
Tabela 26 – Material, Mão de Obra e Rendimento da Laje Sistema Pré-Fabricado “CLT”	89
Tabela 27 – Material de Acabamento da Laje “CLT”	89
Tabela 28 – Mão de Obra para Acabamento da Laje “CLT”	90
Tabela 29 – Custos do Acabamento da Laje “CLT”	90
Tabela 30 – Custo da Laje Sistema Pré-Fabricado “CLT” com Acabamento.....	90
Tabela 31 – Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico.....	91
Tabela 32 – Material da Parede Divisória de Alvenaria de Tijolo Furado	93
Tabela 33 – Mão de Obra da Parede Divisória de Alvenaria de Tijolo Furado.....	94
Tabela 34 – Material de Acabamento Parede Divisória de Alvenaria de Tijolo Furado	94

Tabela 35 – Mão de Obra para Acabamento Parede Divisória de Alvenaria de Tijolo Furado.....	95
Tabela 36 – Custo da Parede Divisória Interior com Acabamento	95
Tabela 37 – Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico.....	97
Tabela 38 – Material, Mão de Obra e Rendimento da Parede Interior Sistema Pré-Fabricado “Wenus”	97
Tabela 39 – Material de Acabamento Parede Interior “Wenus”.....	98
Tabela 40 – Mão de Obra para Acabamento Parede Interior “Wenus”	98
Tabela 41 – Custo do Acabamento Parede Interior “Wenus”	98
Tabela 42 – Custo da Parede Interior “Wenus” com Acabamento	99
Tabela 43 – Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico.....	100
Tabela 44 – Material, Mão de Obra e Rendimento da Parede Interior Sistema Pré-Fabricado “CLT”	101
Tabela 45 – Material de Acabamento Parede Interior Sistema “CLT”	101
Tabela 46 – Mão de Obra de Acabamento Parede Interior Sistema “CLT”	102
Tabela 47 – Custo do Acabamento Parede Interior Sistema “CLT”	102
Tabela 48 – Custo da Parede Interior Sistema Pré-Fabricado “CLT” com Acabamento.....	102
Tabela 49 – Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico.....	103
Tabela 50 – Material da Cobertura Tradicional	105
Tabela 51 – Mão de Obra da Cobertura Tradicional	106
Tabela 52 – Custo da Cobertura Tradicional	106
Tabela 53 – Custo da Laje Aligeirada para a Cobertura Tradicional.....	106
Tabela 54 – Custo do Sistema de Cobertura Tradicional	107
Tabela 55 – Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico.....	108
Tabela 56 – Material, Mão de Obra e Rendimento da Cobertura Sistema Pré-Fabricado “Véga”	109
Tabela 57 – Material de Acabamento da Cobertura Sistema Pré-Fabricado “Véga”	109
Tabela 58 – Mão de Obra para Acabamento Cobertura Sistema Pré-Fabricado “Véga”	110
Tabela 59 – Custo do Acabamento Cobertura Sistema Pré-Fabricado “Véga”	111
Tabela 60 – Custo da Cobertura Sistema Pré-Fabricado “Véga” com Acabamento.....	111
Tabela 61 – Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico.....	112
Tabela 62 – Material, Mão de Obra e Rendimento da Cobertura Sistema Pré-Fabricado “CLT”	113
Tabela 63 – Material de Acabamento Cobertura Sistema Pré-Fabricado “CLT”	113
Tabela 64 – Mão de Obra para Acabamento Cobertura Sistema “CLT”	115
Tabela 65 – Custo do Acabamento Cobertura Sistema “CLT”	115
Tabela 66 – Custo da Cobertura Sistema Pré-Fabricado “CLT” com Acabamento.....	115
Tabela 67 – Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico.....	116
Tabela 68 – Conjunto de Dados para Lajes de Pavimento	123
Tabela 69 – Normalização de Dados para Lages.....	124
Tabela 70 – Conjunto de Dados para a Parede Interior	125

Tabela 71 – Normalização de Dados para Paredes	125
Tabela 72 – Conjunto de Dados para as Coberturas.....	126
Tabela 73 – Normalização de Dados para Coberturas	126

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparativo do rendimento diário das soluções para lajes	117
Gráfico 2 – Comparativo entre os custos e o peso próprio das soluções para lajes.....	118
Gráfico 3 – Comparativo entre a resistência acústica e térmica das soluções para lajes.....	119
Gráfico 4 – Comparativo do rendimento diário das soluções para paredes divisórias interiores.....	119
Gráfico 5 – Comparativo dos custos e peso próprio das soluções para paredes divisórias interiores	120
Gráfico 6 – Comparativo entre a resistência acústica e térmica das soluções para paredes divisória interiores	121
Gráfico 7 – Comparativo do rendimento diário das soluções para coberturas.....	121
Gráfico 8 – Comparativo entre os custos e o peso próprio das soluções para coberturas	122
Gráfico 9 – Comparativo entre a resistência acústica e térmica das soluções para coberturas.....	123
Gráfico 10 – Gráfico resumo das potencialidades dos sistemas pré-fabricados para laje	124
Gráfico 11 – Gráfico resumo das potencialidades dos sistemas pré-fabricados para parede	125
Gráfico 12 – Gráfico resumo das potencialidades dos sistemas pré-fabricados para cobertura	127

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Guia de recomendações para Lajes de Pavimento em Soluções Pré-Fabricadas de Madeira	128
Quadro 2 – Guia de recomendações para Paredes Interiores em Soluções Pré-Fabricadas de Madeira	129
Quadro 3 – Guia de recomendações para Coberturas em Soluções Pré-Fabricadas de Madeira	130

LISTA DE ABREVIATURAS

% - percentagem

€ - euros

cm – centímetros

cm² – centímetros quadrados

cm³ – centímetros cúbicos

dB – decibéis

ex. – exemplo

g – gramas

h – hora

kg – quilograma

kJ – quilojoule

km – quilómetros

m – metros

m² – metros quadrados

m³ – metros cúbicos

mm – milímetros

Mpa – megapascais

un. – unidades

°C – graus Celsius

W – Watts

LISTA DE SIGLAS

CBPB - *Cement-Bonded ParticleBoard*

CBS-CBT – Concepts Bois Structure-Concept Bois Technologie

CLT – *Cross Laminated Timber*

CO₂ – Dióxido de Carbono

DST – Domingos da Silva Teixeira

EN – Norma Europeia

IFN – Inventário Florestal Nacional

ISISE – *Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering*

LSL – *Laminated Strand Lumber*

LVL – *Laminated Veneer Lumber*

MDF – *Medium Density Fibreboard*

MLC – Madeira Lamelada Colada

NP – Norma Portuguesa

OSB – *Oriented Strand Board*

PSL – *Parallel Strand Lumber*

SRU – Sociedade de Reabilitação Urbana

UNESCO – *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

1. INTRODUÇÃO

A madeira é o recurso natural mais antigo utilizado pelo homem e, apesar de, ao longo dos anos, terem aparecido gradualmente outros materiais de construção, a utilização da madeira nunca entrou em desuso pelas características apreciáveis que apresenta.

As atuais preocupações com o meio ambiente vieram estimular ainda mais o uso da madeira, tendo gerado a realização de obras emblemáticas, o desenvolvimento de um conjunto alargado de regulamentação e normalização, designadamente o Eurocódigo¹ 5 (*Design of timber structures*), o qual rege a utilização da madeira como elemento estrutural, bem como o surgimento de novos produtos à base de madeira, por exemplo o MDF (*medium density fibreboard*) e o OSB (*oriented strand board*).

Os novos produtos de madeira processados (*engineered wood products*) multiplicaram a dimensão de aplicabilidade desta matéria-prima e tornaram-na mais competitiva, dadas as diversas características interessantes que apresentam quanto à forma, dimensão, aspeto e, principalmente, sob o ponto de vista físico e mecânico. As técnicas de ligação sofreram igualmente uma evolução notória, traduzida no desenvolvimento de colas de elevada resistência e durabilidade e no aprimoramento de ligaduras e ligações eficientes.

Estes produtos, enquadrados na indústria da pré-fabricação, a qual hoje em dia se encontra em crescente desenvolvimento, trouxeram vários contributos ao setor da construção, não só pela facilidade e rapidez de execução destes sistemas construtivos, o que possibilita baixo custo de mão-de-obra, diminuição dos custos globais da obra e menos tempo despendido, mas, principalmente, pela redução de resíduos gerados.

A perspetiva ambiental fez-se sentir manifestamente no setor da construção, tendo-a feito evoluir em prol de melhores soluções para a preservação e redução de efeitos nefastos para o meio. O valor atribuído a esta vertente levou à criação de um novo paradigma, apoiado nos princípios da sustentabilidade e em fatores de índole ambiental, económica, social e cultural. Também a reabilitação de edifícios ganhou outra proporção, no sentido de minimizar o consumo de recursos e a elevada emissão de poluentes inevitáveis aquando a realização de obra, bem como pela progressiva consciência da necessidade em privilegiar a construção existente.

A importância em subverter o desequilíbrio urbano causado pela degradação e abandono do parque edificado, estruturar novas teorias, métodos e tecnologias para melhor contribuir para a reutilização dos edifícios, cada qual contextualizado na sua realidade individual e valor coletivo perante o parque edificado, reside em melhorias significativas na qualidade de vida dos cidadãos, na revitalização das cidades e a nível económico e ambiental.

¹ Os Eurocódigos são documentos que visam a unificação de critérios e normas de cálculo de engenharia civil em toda a União Europeia, remetendo-se o Eurocódigo 5 para o dimensionamento de estruturas (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010).

1.1. Objetivos

Num tempo em que o desenvolvimento sustentável e a preservação do património arquitetónico conquistaram já o seu lugar entre as prioridades atuais, interessa conhecer e explorar todos os mecanismos disponíveis para conciliar ambos os objetivos no sentido de reabilitar o parque edificado, renovando e readaptando o espaço construído, face às exigências de hoje. A utilização de elementos pré-fabricados em madeira apresenta-se como uma ótima hipótese para o efeito, pois não só contribuem para uma reabilitação sustentável, dado o material e a tecnologia em questão, como também possibilitam uma poupança de recursos financeiros e de tempo.

É neste sentido que surge o propósito deste estudo, apresentando como objetivo principal o desenvolvimento de um conhecimento mais aprofundado acerca das potencialidades dos elementos pré-fabricados de madeira na reabilitação, através da contribuição de um caso de estudo, que poderá representar uma medida importante no grau de qualidade das reabilitações, bem como na melhoria das questões ambientais, económicas e sociais.

De uma forma mais específica, pretende-se:

- Reconhecer os possíveis benefícios que poderão advir da aplicação de alguns sistemas de elementos pré-fabricados de madeira, em diferentes situações que carecem de processos de reabilitação existentes no edifício elegido, comparativamente aos sistemas convencionais, de modo a sustentar o facto dos elementos pré-fabricados de madeira serem uma boa aposta no ramo da reabilitação;
- Investigar as potencialidades dos elementos pré-fabricados de madeira no contexto da reabilitação;
- Sintetizar as potencialidades dos elementos pré-fabricados de madeira no contexto da reabilitação, em algumas situações encontradas no estudo de caso, de modo a contribuir para uma tomada de decisão mais acertada quanto ao uso destes elementos na reabilitação.

Assim, este trabalho visa gerar conhecimento, complementando estudos já existentes sobre a temática, através da contribuição de um caso de estudo, tendo por base a análise do desempenho de alguns sistemas de elementos pré-fabricados de madeira, em soluções que carecem de processos de reabilitação presentes no edifício em questão, com o intuito de reconhecer algumas das potencialidades destes novos produtos.

1.2. Metodologia

Este estudo, exploratório-descritivo, visa explorar e descrever as potencialidades dos elementos pré-fabricados de madeira na reabilitação.

Utilizando como recursos a pesquisa bibliográfica e documental, bem como um estudo de caso, pretende-se um maior aprofundamento da temática, de modo a complementar e a enriquecer a literacia já existente.

Segundo Yin (1994), o estudo de caso trata-se de uma abordagem metodológica de investigação apropriada a questões do tipo "como?" e "porquê?", que abrange uma pesquisa que procura compreender, explorar, analisar ou descrever acontecimentos e contextos complexos, nos quais estão simultaneamente envolvidos diversos fatores.

Este corresponde a um edifício urbano situado na cidade do Porto, tendo sido selecionado por conveniência dada a riqueza da zona no que concerne a edifícios que carecem de reabilitação e, sobretudo, pelo material que se apresenta em maior estado de deterioração serem elementos de madeira.

Pensa-se que o estudo de caso foi uma mais-valia na concretização deste trabalho, na medida em que permitiu a proximidade com diversas situações que necessitam de processos de reabilitação, tendo proporcionado, desta forma, um estudo mais exaustivo quanto à possível aplicação de alguns sistemas de elementos pré-fabricados de madeira nas diferentes situações e uma análise mais esmiuçada relativamente aos possíveis benefícios que poderiam advir dessa aplicação, bem como o provável desempenho destes elementos no ramo da reabilitação.

1.3. Estruturação

O trabalho apresenta-se organizado em seis partes, tendo como início a presente introdução onde se encontram explanados os objetivos do estudo e a metodologia.

Em seguida, discorre-se, o estado da arte, no qual se identificou, com base num vasto número de artigos e obras, um conjunto de aspetos e metodologias referentes à definição de sustentabilidade e reabilitação, de madeira e de elementos pré-fabricados da mesma para a reabilitação, alcançando-se assim uma retrospectiva histórica acerca da temática.

Na terceira parte, aborda-se a madeira como material de construção, bem como o sistema construtivo e arquitetónico presente em Portugal, fazendo menção especificamente aos edifícios do século XIX da cidade do Porto, devido às características que apresentam, as quais estiveram na origem da escolha do caso de estudo.

Posteriormente, apresenta-se o estudo de caso, onde, de acordo com a metodologia, se procedeu à identificação dos benefícios em utilizar sistemas de elementos pré-fabricados de madeira na reabilitação, comparativamente aos sistemas convencionais *in situ*, bem como o seu desempenho, de modo a sustentar o facto de estes elementos serem uma boa aposta neste ramo. Ainda na quarta parte, reuniram-se todas as informações obtidas, retiraram-se as principais considerações, e elaborou-se um guia de recomendações para ações de reabilitação utilizando elementos pré-fabricados à base de madeira.

Após a finalização destas quatro partes, segue a conclusão e, por fim, as referências bibliográficas.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Matéria-Prima

A madeira é um material orgânico celular natural de origem vegetal com especificidades bastante próprias, tais como a heterogeneidade, a anisotropia e a higroscopia. As suas propriedades organolépticas - cor, textura, desenho, odor, brilho e peso – tornam-na um material *sui generis* muito admirável.

De entre as suas características físicas, destacam-se a humidade, a densidade, a retratilidade, a durabilidade natural e a resistência química e ao fogo. Como isolante térmico, acústico e elétrico, a madeira apresenta-se como sendo excepcional.

A nível estrutural, este recurso possui elevada resistência, comparativamente ao seu peso, o que favorece a redução do tamanho das fundações e o efeito da ação sísmica. O seu processo de degradação é geralmente provocado pela ação dos agentes biológicos, por variações termo-higrométricas e, por vezes, pela forma como é utilizado estruturalmente, onde são descurados aspetos fundamentais como os esforços a que está sujeito, os tipos de apoios e ligações (Lourenço, Branco, & Sousa, 2014).

A análise do ciclo de vida da madeira evidencia um melhor desempenho, relativamente aos principais materiais de construção, no que concerne à energia incorporada, emissão de gases, produção de resíduos sólidos, bem como a libertação de poluentes para o ar e água (Amorim, 2006).

Nos últimos anos tem-se verificado uma evolução significativa quanto à filosofia de proteção da madeira e aos métodos correntes de preservação e tratamento, no sentido de uma abordagem menos pejorativa para o Homem e para o meio ambiente.

Ao contrário do que se julga, a exploração madeireira não é a causa da desflorestação, estando esta, por sua vez, relacionada com a agricultura extensiva, a ocupação urbana e pelos fogos florestais. Quando sustentada, a indústria florestal é das principais preconizadoras da não-desflorestação, conseguindo-o através da renovação constante da floresta após o abate das árvores. Tal deve-se ao facto de árvores jovens reterem maior quantidade de CO₂ do que árvores adultas, sendo, portanto, procedimentos com conotação ambientalmente positiva. A Suécia apresenta-se como um exemplo notável pelo resultado que conseguiu exibir ao duplicar a quantidade de árvores desde que começou esta atividade (inícios do século XX) (International Institute for Environment and Development, 2004). Em Portugal, a produção florestal atinge cerca de 35%, representando cerca de 3 154 800 hectares do território nacional, tal como se pode observar na imagem abaixo exposta (figura 1).

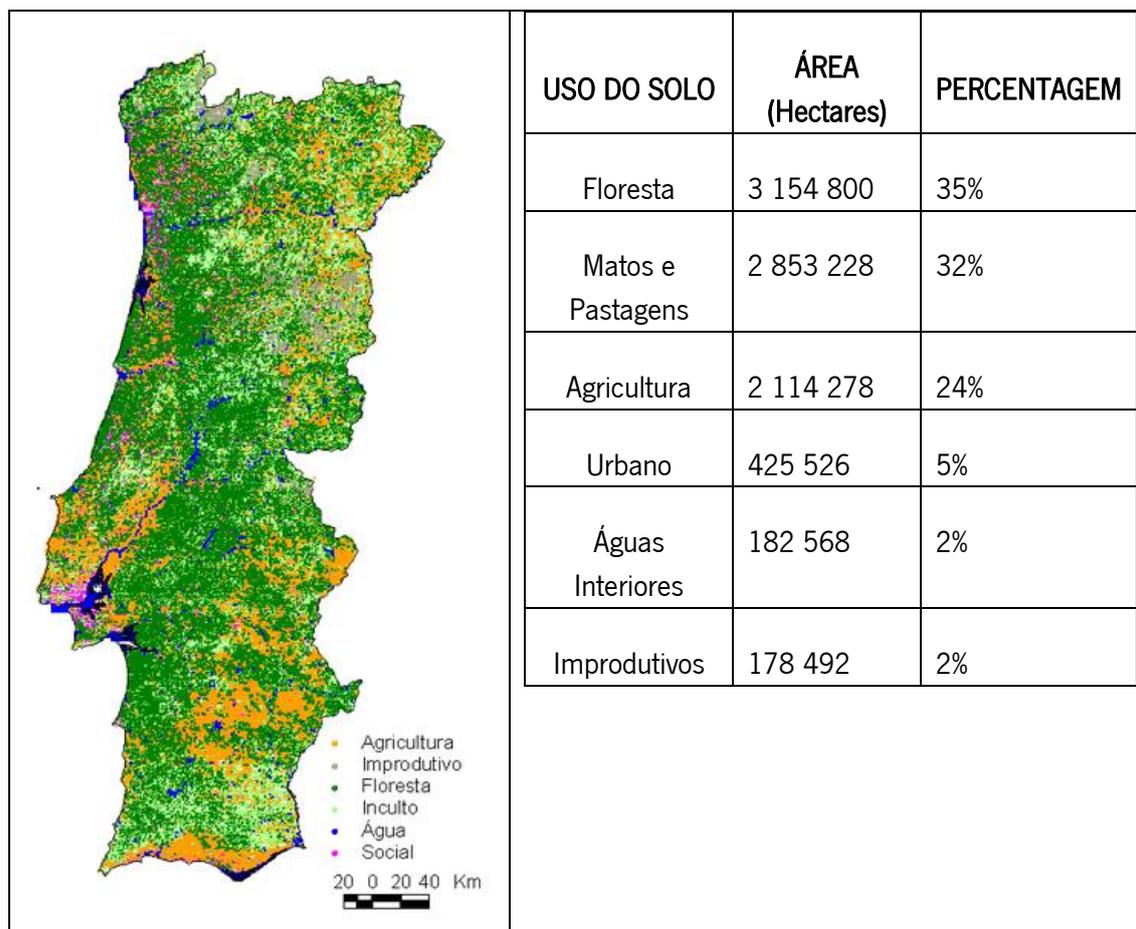


Figura 1 - Áreas por uso de solo (IFN, 2010)

Devido à sua relativa abundância e às suas principais características, a madeira foi desde sempre um recurso utilizado e admirado pelo Homem. As espécies desta matéria-prima mais usadas em Portugal, observáveis na figura 2, segundo os dados provisórios do Inventário Florestal Nacional (IFN, 2010), para estruturas de coberturas ou de pavimentos, são o Pinho Bravo (*Pinus pinaster*), o Pinheiro Casquinha (*Pinus sylvestris*), o Cedro (*Cedrus atlântica*), o Carvalho Português (*Quercus faginea*), o Castanho Bravo (*Castanea sativa*) e o Eucalipto Comum (*Eucalyptus globulus*). O Eucalipto também é bastante utilizado na produção de pasta celulósica, motivo pelo qual ocupa a maior percentagem no gráfico abaixo apresentado, com um total de 26%, cerca de 811 943 hectares. Já o Sobreiro (*Quercus suber*), importante na produção da cortiça, apresenta 23% de ocupação, cerca de 736 775 hectares; seguindo-se o Pinheiro Bravo, relevante na produção de estruturas de lamelado colado, com uma ocupação de 23%, cerca de 714 445 hectares.

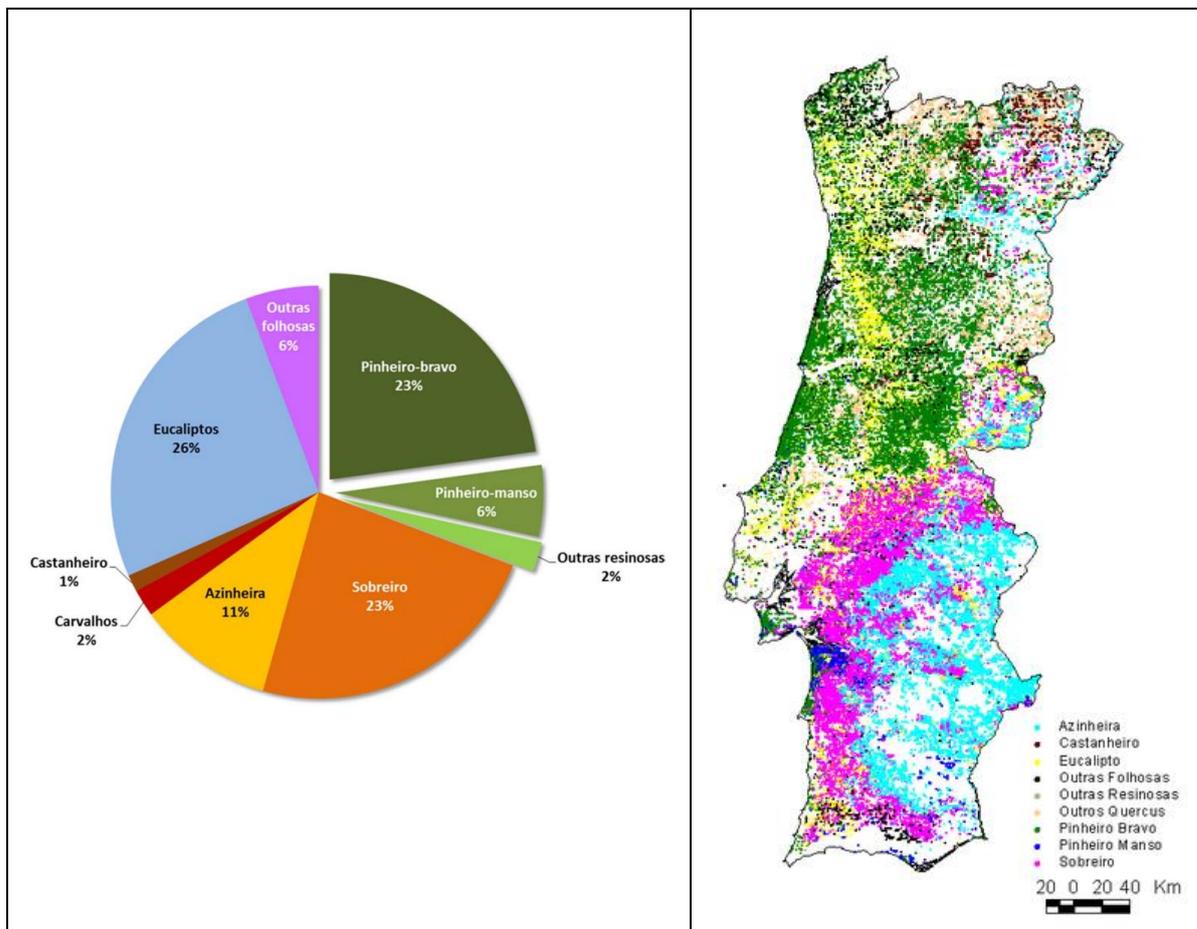


Figura 2 - Áreas totais por espécie florestal em Portugal (Adaptado de IFN, 2010)

Dado o atual contexto económico, bem como as crescentes preocupações relacionadas com a rentabilização e otimização dos recursos naturais, pensa-se que a utilização de madeira em Portugal irá sofrer um aumento significativo em detrimento das madeiras importadas. Neste campo e, de acordo com o depoimento do Arquiteto Rui Rosmaninho (2013), a madeira de pinho bravo poderá ser a solução de futuro, depois de realizadas campanhas de sensibilização e informação, com vista à divulgação das suas características e potencialidades, tão boas quanto as das madeiras provenientes do norte da Europa.

2.2. Evolução Histórica

A madeira acompanhou o Homem desde os seus tempos remotos, tendo sido a matéria-prima elementar na construção dos seus abrigos. Dado ser um material leve, resistente, fácil de trabalhar e com abundância variável em comprimentos e diâmetros, proporcionou o abandono das cavernas em prol de cabanas produzidas com madeira e peles de animais (Appleton, 2003).

Com a evolução da humanidade foi sendo utilizada para outros fins mais complexos, designadamente nos meios de transporte, na construção de edificações, com aplicações que vão desde acabamentos a grandes estruturas, na criação de utensílios domésticos e numa diversa variedade de objetos indispensáveis à subsistência humana (Sampaio, 1975).

Os conhecimentos sobre as características da madeira e sobre o comportamento das estruturas foi sendo transmitido de geração em geração e, embora baseado no empirismo e na experiência, permitiu a realização de verdadeiras obras-primas do ponto de vista de execução. A madeira foi, assim, durante muitos séculos, em conjunto com a alvenaria, o material de construção mais importante na construção de edificações, desde habitações, pontes, catapultas, e até mesmo de aprimoradas coberturas de edifícios religiosos e palácios.

Com o passar dos anos, e depois de se ter conseguido criar edifícios tão sublimes, houve a necessidade de evoluir para materiais com outro tipo de características, passando-se do sistema tradicional à base de madeira e alvenaria (de pedra ou tijolo) para o betão armado e estruturas metálicas, que surgem nas primeiras décadas do século XX (figura 3). Estes materiais possibilitaram a realização de novas e arrojadas estruturas, correspondendo aos requisitos da evolução construtiva. O rápido desenvolvimento de programas de cálculo de estruturas de betão armado e de aço, também contribuiu para o declínio da construção madeireira (Appleton, 2003).

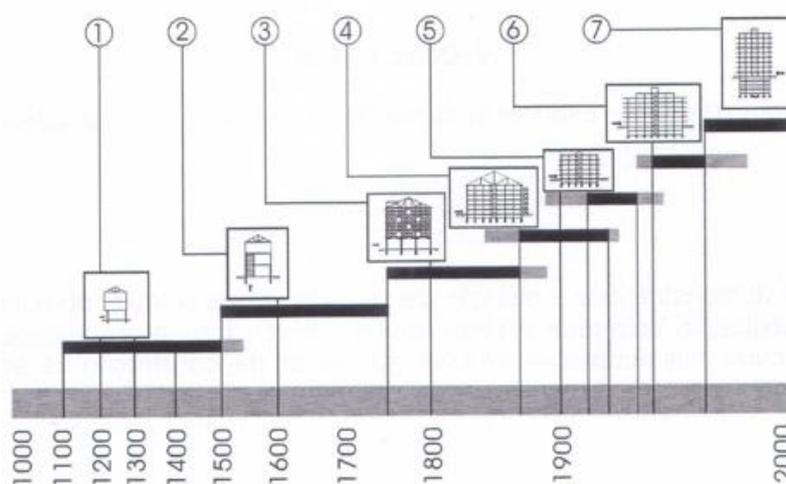


Figura 3 - Evolução das tipologias de edifícios em Portugal (in http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/evol_tipol.html)

Segundo Negrão (2011), em Portugal, nos últimos tempos, tem-se denotado um esforço no sentido de reabilitar a madeira como material principal de construção, dado o atual conhecimento acerca das vantagens deste material. Tal facto desencadeou a decadência dos construtivos clássicos em supremacia de novas conceções estruturais, tais como as peças de secção composta, que se aproximam das características do aço; o emprego de estruturas laminadas coladas; o progresso nos contraplacados e aglomerados; e um melhor conhecimento das propriedades mecânicas da madeira. Estas novas perspetivas viabilizaram a conceção das mais pequenas às maiores e mais pesadas estruturas, com a evidente subida do uso da madeira na construção.

No entanto, a madeira somente adquiriu reconhecimento como material moderno de construção, com condições de atender às exigências das técnicas construtivas recentemente implementadas, quando foram

desenvolvidos processos de aprimoramento que permitiram anular as características menos positivas que a madeira apresenta no seu estado natural, nomeadamente: a degradação das suas propriedades e o aparecimento de tensões internas decorrentes de alterações da humidade que foram revertidos por processos de secagem artificial controlada; a sua deterioração em ambientes que favorecem o ataque de predadores colmatada com tratamentos de preservação; e a marcante heterogeneidade e anisotropia próprias de sua constituição fibrosa orientada, bem como a limitação das suas dimensões, foram resolvidas pelos processos de transformação nos laminados, contraplacados e aglomerados de madeira (Uriartt, 1992).

As estruturas pré-fabricadas constituem uma natural evolução na construção em madeira, as quais representam uma reação a um conjunto de limitações que são frequentemente apontadas a esta matéria-prima (qualidade, durabilidade e estabilidade) e à forte concorrência de outros materiais tradicionais (betão ou aço) ou não tradicionais (compósitos não envolvendo madeira). Estas estruturas vieram impulsionar ainda mais a construção madeireira, tornando-se evidente, nos dias de hoje, um aumento na utilização de madeira maciça e seus derivados pela indústria da construção (Martins & Vieira, 2004).

Neste sentido, podem-se distinguir dois tipos de madeiras usadas na construção: as madeiras maciças e as madeiras industrializadas. As madeiras maciças provêm diretamente dos troncos das árvores sem serem submetidas a qualquer tipo de colagem. Dentro desta categoria são consideradas a madeira redonda (em toros a variar de diâmetro entre 0,15m e 0,25m) e a madeira serrada (em vigas, pranchas, tábuas, entre outros), que apresentam como principal inconveniente a limitação a nível transversal e vertical. Já as madeiras industriais, cada vez mais utilizadas, atingem secções transversais e comprimentos maiores, bem como peças com eixos curvos. A obtenção de peças de diferentes dimensões e melhores características é conseguida pelo desmanchamento do toro em lâminas, partículas ou fibras e a sua posterior colagem, formando assim estes novos produtos.

2.3. Elementos de Madeira Pré-Fabricada

Denominam-se por elementos pré-fabricados de madeira aqueles em que o sistema de construção é concebido de forma totalmente integrada, restringindo-se os procedimentos a realizar no local à montagem dos componentes e a um número reduzido de operações de corte e serragem.

A categoria destes elementos, segundo Cachim (2007), encontra-se subdividida em três grandes grupos: os aglomerados de madeira, as secções estruturais de madeira e os sistemas pré-fabricados de madeira, que se encontram explanados seguidamente.

2.3.1. Aglomerados de madeira

Os aglomerados de madeira são atualmente bastante utilizados em diversas soluções, quer ao nível da construção como no fabrico de móveis, sendo apenas desaconselhados para lugares húmidos e em exposição direta da luz solar. Apresentam-se sob a forma de painéis reconstituídos por partículas de madeira de várias dimensões, conectadas por resinas especiais fenólicas e prensagem a quente. Na fabricação destas placas utilizam-se espécies de madeira de rápido crescimento e fraca qualidade ou então provenientes da reciclagem (Cachim, 2007).

- Aglomerados de partículas de madeira

Um aglomerado de partículas de madeira pode ser definido, segundo a “EN 309:1992. *Particleboards. Definition and classification*”, como um painel fabricado, sob pressão e calor, a partir de partículas de madeira (lascas, aparas, rebarbas) ou outras substâncias como lenho celulósicas (bagaço de cana, resíduos agrícolas, entre outros) com a adição de um adesivo. Podem ainda ser acrescentados aditivos de forma a melhorar o desempenho da placa. Neste processo, datado nos meados da década de 1940, eram inicialmente utilizados desperdícios de madeira, dando origem a um produto de fraca qualidade.

A obtenção destas placas assemelha-se aos outros tipos de placas, que consiste na produção da estilha e depois a secagem. Posteriormente é realizado um processo de separação/refinação da estilha, rejeitando-se aquela que não apresenta características adequadas. A estilha (figura 4) é misturada com o ligante, formando-se um colchão ao qual é aplicado uma pré-pressão. O processo termina com a prensagem e posterior estabilização da placa.



Figura 4 - Aspeto da estilha (in www.logismarket.pt)

Os painéis formados podem ser constituídos por uma só camada, também designados por homogéneos, pois são constituídos por partículas sensivelmente da mesma dimensão em toda a espessura, ou por várias camadas (figura 5), geralmente três, em que a central é formada por partículas mais grossas e as exteriores por materiais mais finos, de modo a possibilitar a obtenção de superfícies aptas a receber os mais variados acabamentos.

O abastecimento de madeira para a indústria de painéis aglomerados é maioritariamente pelo pinheiro bravo (98%), sendo estes produzidos numa larga gama de dimensões, com espessuras geralmente de 4 a 30mm e com larguras e comprimentos variáveis.



Figura 5 - Painel Aglomerado de Partículas (in www.aguedaplaca.com)

O painel de partículas é um material isotrópico e com elevada durabilidade quando aplicado em revestimentos, tetos, paredes e mobiliário. Os acabamentos em pintura, folheado de madeira natural ou revestimento de papel embebido em resinas melamínica nas duas faces aumentam a sua resistência e evitam os empenamentos.

Este tipo de painel é considerado o mais comum dos produtos derivados de madeira, dado a sua versatilidade no que diz respeito às suas potenciais aplicações. Quando comparado à madeira maciça, apresenta as seguintes vantagens e desvantagens (tabela 1), que segundo Silva, Dias, & Lousada (2013), se devem ter em conta na sua utilização:

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens do painel aglomerado de partículas

VANTAGENS	DESvantagens
Densidade igual ou maior à da madeira (característica que lhe dá maior resistência)	Superfície e perfis grosseiros
Matéria-prima homogénea, uma vez que o processo de produção retira nós e imperfeições encontrados na madeira, evitando que rache ou deforme e, por sua vez, aumentando a resistência	Baixa capacidade de ser trabalhada – pouca possibilidade da madeira ser entalhada ou ser torneada
Material mais isotrópico	Pelas suas características técnicas, pode esfarelar com o uso de dobradiças e parafusos inadequados
Baixo custo, pois é produzido com matéria-prima de qualidade inferior, proveniente de cortes intermédios do povoamento com desramas, desbastes, pontas ou resíduos das indústrias de primeira transformação	Impossibilidade de utilização de pregos
Resistência maior às pragas pela adição de resinas sintéticas na sua constituição	Baixa resistência à humidade apesar de esta poder ser aumentada

- Aglomerados de partículas de madeira longas e orientadas (OSB)

Os aglomerados de partículas de madeira longas e orientadas, OSB (*Oriented Strand Board*), são constituídos por aparas de madeira (partículas longas, largas e finas), de dimensões geralmente retangulares, com comprimentos entre os 50 e 70mm, 20mm de largura e 0.5mm de espessura. As tiras de madeira são orientadas perpendicularmente em várias camadas (figura 6), e unidas com resinas aplicadas sob alta pressão e temperatura. As camadas exteriores são dispostas longitudinalmente em relação ao comprimento da placa e as camadas intermédias perpendicularmente. Encontram-se definidos na “NP EN 300:2002. Aglomerados de partículas de madeira longas e orientadas (OSB). Definições, classificação e especificações”.



Figura 6 - Produção de placas OSB (in commons.wikimedia.org)

Este tipo de elemento (figura 7) corresponde ao aperfeiçoamento das placas de partículas, devido ao aumento das dimensões das mesmas, de modo a se alcançarem placas com maior resistência mecânica e rigidez.



Figura 7 - Exemplo de aplicação dos painéis OSB (in www.jular.pt)

Atualmente, os painéis OSB encontram-se disponíveis numa vasta gama de dimensões, com superfícies lixadas ou não lixadas, e acabamentos com cantos retos (figura 8) ou com sistema macheado (para encaixe macho e fêmea). Uma vez resistente à humidade, permite a aplicação em quase todos os géneros de coberturas e em pavimentos domésticos/industriais. No mercado existem quatro tipos de placas OSB (tabela 2), dependendo da utilização e do ambiente a serem submetidas.

Tabela 2 - Tipos de Placas OSB

Código	Ambiente	Norma	Tipo de Utilização	
OSB/1	Seco	NP EN 300	Fins Gerais; Interiores	Soalhos Móveis
OSB/2	Seco		Estrutural	Topos de paletes Cofragem temporária
OSB/3	Húmido		Estrutural	Paredes divisórias; Forro de telhados;
OSB/4	Húmido		Estrutural Especial	Revestimento de paredes; Prateleiras

Devido às inúmeras vantagens que possui, trata-se de um material de rentabilidade ótima e particularmente adequado para obras de reabilitação e renovação (Silva, Dias, & Lousada, 2013.).

- ✓ Variedade decorativa, pelo acabamento original e facilidade de envernizamento;
- ✓ Suporta praticamente todos os tipos de acabamento, incluindo betumes, tijoleira e telhas;
- ✓ Isento de defeitos estruturais: nós, poros ou descontinuidades;
- ✓ Manuseamento simples, podendo ser serrado, furado, aplainado, fresado ou lixado. Pode ser pregado, cravado ou aparafusado junto ao bordo sem rachar. É também facilmente colado, pintado ou tinturado;
- ✓ Boa capacidade de isolamento termo-acústico;
- ✓ Produto com características eco-eficientes, pelo aproveitamento dos desperdícios de madeiras de espécies de rápido crescimento e por ser totalmente reciclável;
- ✓ Excelente relação entre resistência e peso;
- ✓ Se utilizado em conformidade com as recomendações, é um painel de grande durabilidade e dimensionalmente estável, mantendo os níveis de desempenho intactos ao longo do seu ciclo de vida;
- ✓ Grande rigidez e resistência à deformação, rutura e delaminação;
- ✓ Elevada resistência mecânica, comparativamente aos valores do contraplacado e de outros painéis estruturais de classe equivalente;
- ✓ Os diferentes formatos asseguram uma grande versatilidade na construção de pavimentos e paredes.



Figura 8 - Aspeto final das Placas de OSB (in allenbuildingcentre.com)

- Aglomerados de partículas de madeira ligados com cimento (CBPB)

As placas de aglomerados de partículas de madeira ligadas com cimento, CBPB (*Cement-Bonded Particleboard*), são compostas por 75 a 80% de cimento, geralmente *Portland*, e 20 a 25% de fibras de madeira. Este tipo de aglomerado encontra-se definido na “EN 633:1993 – *Cement-Bonded Particleboards. Definition and Classification*” e, contrariamente aos restantes, não necessita da adição de resinas para garantir as ligações, mas sim de cimento.

Em Portugal, o CBPB é produzido e distribuído pela Viroc, apresentando-se como um produto com elevados indicadores de exportação. As placas de CBPB são fabricadas normalmente em três camadas, sendo as camadas exteriores formadas por partículas finas para a obtenção de uma superfície lisa e a camada central por partículas grossas (Machado, 2005).

Este tipo de aglomerado, conforme o fim a que se destina, pode ter diferentes tipos de acabamentos: superficial em bruto (aplicação para o exterior) ou lixado (aplicação para o interior). Quando utilizado como revestimento, estes painéis podem exibir variados aspetos: em bruto, lixado, com primário, ou ainda soluções mais ou menos elaboradas como a pintura, o recobrimento com cerâmicos, os folheados, os laminados, os painéis sanduíche, entre outros.

Como principais características, segundo Cachim (2007), destacam-se:

Resistência ao fogo, à humidade, ao impacto, ao frio e a microrganismos
Durabilidade
Isolamento acústico
Facilidade de aplicação
Não liberta nem contém elementos tóxicos

- Aglomerados de fibras de madeira

De acordo com a “NP EN 316:2001. Aglomerados de fibras de madeira. Definição, classificação e símbolos”, uma placa de aglomerados de fibras de madeira compreende uma espessura superior a 3 mm, a qual é produzida a partir de fibras lenho celulósicas, através da aplicação de cola, calor e/ou pressão (Cachim, 2007).

Na fabricação destas placas, começa-se pela produção e triagem da estilha, seguindo-se para a formação da pasta de fibra e depois para o processo húmido, do qual resulta um colchão de fibras húmidas. Este colchão pode sofrer um processo de secagem para a obtenção de aglomerados brandos ou ser submetido a prensagem a quente para a obtenção dos aglomerados duros. Através do contributo desta técnica moderna as qualidades da madeira ficam preservadas, originando um painel compacto e de superfície lisa.

- Painel Aglomerado de Fibras de Densidade Média (MDF)

O painel aglomerado de fibras de densidade média, MDF (*Medium Density Fibreboard*), usufrui das mesmas especificidades da madeira, caracterizando-se por apresentar superfícies lisas e de ótima resistência à humidade e ao fogo. Possui também elevada maquinabilidade e homogeneidade para a construção civil pela sua superfície macia adequada à lacagem. Pode ser aplicado em mobiliário, pavimentos ou como revestimento de forma direta, sendo possível utilizar extremidades sólidas e bordas de proteção. O seu acabamento pode ser cru ou revestido a madeira ou melamina.

Em Portugal, estes painéis (figura 9) são constituídos por 95% de madeira de pinho, tratando-se um dos setores com maior crescimento nos últimos anos. Tal facto deve-se ao elevado consumo que este produto tem apresentado, por ser considerado o derivado de madeira com melhor apetência para substituir a madeira maciça (Silva, Dias, & Lousada, 2013).



Figura 9 - MDF, aglomerado de fibras (in portaldamadeira.blogspot.com)

Existem vários tipos de MDF disponíveis no mercado (tabela 3), de acordo com a aplicabilidade e exigências da mesma.

Tabela 3 - Tipos de Placas MDF

MDF	APLICABILIDADE
MDF standard	Interiores - em ambiente seco - portas, mobiliário, revestimento, decoração em geral
MDF especial	Pintura/lacagem
MDF com menor densidade mas resistente	Fabricação de produtos com limite de peso (portas de guarda-roupa, montagem, decoração de lojas, entre outros)
MDF com maior resistência à humidade (baixo inchamento)	Zonas com humedecimento ocasional, como mobiliário de cozinha e casa de banho, caixilhos de portas e janelas, lambrins
MDF colorido em massa	Decoração
MDF moldável caracterizado por possuir uma face ranhurada	Soluções onde seja necessária flexibilidade do material na composição de outras formas (curvas, ondulações, desenhos, entre outros)
MDF com reação do fogo melhorada (euroclasses c e b) pela adição de aditivos ignífugos	

- Painel Aglomerado de Fibra Dura

O painel aglomerado de fibra dura, *Platex*, corresponde a um dos derivados de madeira com mais história, diferenciando-se dos restantes por não requerer resina sintética como agregante das fibras. Este painel utiliza o potencial do agente aglutinante natural da própria madeira, a lignina, através de processos de altas temperaturas e pressões. Ao ser produzido com fibras intactas e em espessuras finas (2,5mm, 3,2mm, 5mm), adquire alta densidade (0,8 a 1,2 g/cm³), resistência mecânica, estabilidade e uniformidade. Trata-se, portanto, de um produto eco-eficiente, com características muito próprias inerentes ao seu processo de fabrico (Silva, Dias, & Lousada, 2013).

Constituído por 100% de madeira, geralmente aparece no mercado exibindo uma cor acastanhada, com uma face rugosa e outra lisa, ou ambas lisas, dependendo se foi produzido pelo processo húmido ou seco. Em qualquer um dos casos as superfícies lisas possuem um ótimo acabamento, sem necessitarem de ser lixadas ou preparadas antes de serem pintadas ou lacadas.

Este material (figura 10), disponibilizado em forma compactada ou furada, encontra-se indicado para aplicações de placas finas, ideal para elementos traseiros de mobiliário, fundos de gavetas, revestimento de tetos, portas, bases do chão, divisões interiores, tampos, painéis isolantes (térmicos e acústicos), entre outros.



Figura 10 - Vários painéis de Fibra Dura (in www.pt.all.biz)

2.3.2. Secções estruturais de madeira

A resistência da madeira é particularmente afetada pelos defeitos naturais originados pelo desenvolvimento das árvores. Estes reduzem entre 2 a 4 vezes a resistência, comparativamente à madeira limpa, a qual é conseguida pelo corte de troncos em secções finas para a sua posterior colagem em várias camadas. Desta forma, os defeitos conseguem ser minimizados, melhorando a resistência à tração e produzindo-se elementos com propriedades mais homogéneas e de dimensões difíceis de se obter com a madeira maciça, ou nalguns casos mesmo impossíveis por limitações naturais do crescimento das árvores (Cachim, 2007).

Uma vez que este método permite o aproveitamento de madeira sem valor comercial, promovendo-se neste sentido a sustentabilidade, existe, atualmente, uma ampla variedade deste tipo de produtos. Em seguida, descrevem-se os mais comuns.

- Madeira Lamelada Colada (MLC)

A madeira lamelada colada, MLC, constituída por lâminas de madeira maciça, cujas fibras têm direção paralela e são coladas, face a face, sob pressão, formando grande vigas de secção retangular (8 a 12 cm por 4 a 5 cm), possibilitou o reaparecimento das estruturas de madeira, pela versatilidade e desempenho que apresenta. Sendo, então, considerada como um material estrutural, especialmente de estruturas de grande vão, como coberturas e passagens pedonais, tornou-se essencial desenvolver um sistema de classificação fundamentado nas resistências. Este encontra-se definido na “NP EN 1194:2002” e serve para a correta utilização e conhecimento das estruturas de MLC (Cachim, 2007).

Na produção da MLC (figura 11), as pranchas são ligadas através de juntas dentadas longitudinais, de forma a criar lamelas contínuas. As lamelas normalmente têm uma espessura entre 19 a 50 mm e 1,5 a 5 m de comprimento, dependendo este comprimento da ligação nos topos das várias lamelas.

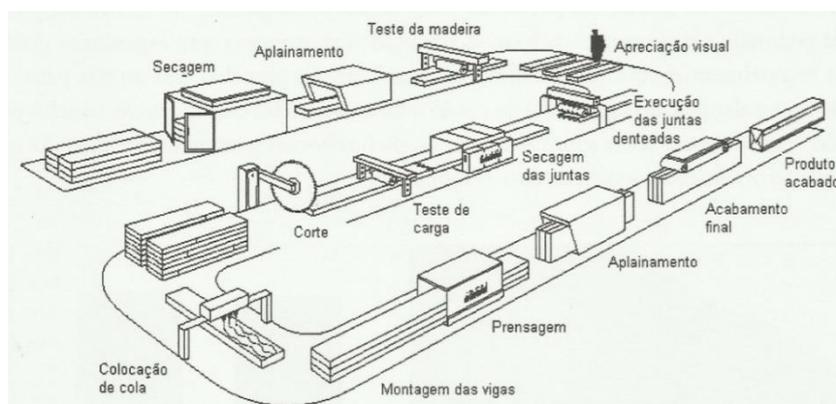


Figura 11 - Fases da produção da Madeira Lamelada Colada (Cachim, P., 2007)

A madeira lamelada colada (figura 12) possibilita uma escolha criteriosa dos elementos para a sua constituição, podendo-se formar assim peças homogêneas, no caso de todas as lamelas pertencerem à mesma classe de resistência e/ou espécie, ou combinadas, se as lamelas pertencerem a diferentes classes de resistência e/ou espécies. O facto das peças construídas incorporarem na sua estrutura colas sintéticas com elevada durabilidade e de grande resistência mecânica, ao fogo e à ação da humidade, torna-as menos higroscópicas mas mais isotrópicas, ou seja com maior estabilidade. Tal permite o suporte de maiores tensões quando colocadas em uso, uma vez que as tensões geradas por umas lamelas são contrariadas e absorvidas pelas outras, sendo menor a tendência para o fendilhamento.



Figura 12 - Aspeto de um elemento de Madeira Lamelada Colada (in www.geradordeprecos.info)

A MLC apresenta um conjunto de características que se aplicam igualmente à madeira maciça, algumas das quais foram melhoradas aquando a sua produção, que é bastante exigente a nível técnico e por isso deve ser realizada mediante um cuidadoso controlo de qualidade, conforme disposto na “EN 386:1995. *Glued laminated timber. Performance requirements and minimum production requirements*”. Consideram-se então, de acordo com Silva, Dias, & Lousada (2013), as seguintes propriedades da madeira lamelada colada:

- ✓ Eliminação inicial de defeitos naturais, permitindo a reconstituição que, por sua vez, distribui de forma aleatória os defeitos residuais no interior do produto final e ainda possibilita a obtenção de secções de peças não limitadas pelas dimensões e geometria do tronco das árvores;
- ✓ Boa relação peso/resistência (em média, 1,3 vezes superior à do aço e 10 vezes superior à do betão), com a melhoria significativa das tensões médias de rutura e a redução na dispersão dos seus valores;
- ✓ Leveza das estruturas oferece maior facilidade de montagem, desmontagem e possibilidade de ampliação, sem necessidade de máquinas pesadas, o que se traduz na racionalização da construção, ganho de tempo na montagem e entrega da obra. Um menor peso morto, se comparado com outros materiais, pode ser economicamente mais viável nas fundações;
- ✓ Facilidade de conjugação com outros materiais;
- ✓ Excelentes capacidades de isolamento acústico e resistência ao fogo (em caso de incêndio, a carbonização é extremamente lenta e a parte não queimada conserva a resistência da estrutura);
- ✓ Possibilidade de tratamento da madeira, tábua por tábua, em autoclave, que confere enorme eficiência contra o ataque de fungos e insetos xilófagos, com uma garantia que pode chegar até 50 anos;
- ✓ Adequado para ambientes quimicamente agressivos, como as indústrias químicas e laboratórios, uma vez que não é suscetível à corrosão ou oxidação. Também é imune à ação dos cloretos da água do mar e do cloro das piscinas, razão pela qual demonstra grande utilização em coberturas desse tipo;
- ✓ Design flexível e qualidade estética indiscutível: as vigas podem ser retas ou curvas, possibilitando a obtenção de peças com raio de curvatura reduzido, variável consoante o projeto, o que pode ser largamente explorado pelos arquitetos e engenheiros na composição de um conjunto agradável e perfeitamente integrado no ambiente.

- Contraplacados

O painel contraplacado (figura 13), formado pela colagem de um número ímpar de folhas de madeira natural sobrepostas perpendicularmente e aglutinadas com resinas sintéticas a altas temperaturas e pressões, apresenta uma espessura entre 2 e 4 mm.

Na fabricação destes painéis, as folhas de madeira obtêm-se pelo desenrolamento ou corte dos troncos e só após a sua secagem é que são classificadas e colocadas em camadas sobrepostas, situando-se o teor em água do contraplacado no final da linha de produção entre os 8 e 10%. A norma “NP EN 315:2001. Contraplacado. Tolerâncias dimensionais.” estabelece a tolerância das placas de contraplacado (dimensões, esquadria e retidão dos bordos).



Figura 13 - Aspeto de um contraplacado (in www.banema.pt)

Devido às colas utilizadas, à técnica de produção e à sua própria constituição, os contraplacados apresentam maior estabilidade dimensional e menor anisotropia e higroscopia do que a madeira maciça, sendo a tendência da folha para retrair/inchar perpendicularmente limitada pela estabilidade ao longo das fibras das folhas confinantes. De entre as restantes placas, este material é o mais resistente à fissuração, dado a estrutura cruzada das folhas, podendo ser pregado ou aparafusado perto dos bordos, sem perigo de fendilhamento (Silva, Dias, & Lousada, 2013).

Os contraplacados encontram-se indicados para aplicações desde a realização de paredes interiores e exteriores, pavimentos antiderrapantes, cofragens, a mobiliário, painéis decorativos, entre outros. O seu emprego, segundo Cachim (2007), possui consideráveis vantagens, tais como:

- ✓ Elevada resistência à degradação, ao desgaste, ao choque/impacto, ao fogo, à humidade e à flexão;
- ✓ Grande durabilidade e facilidade de manuseamento;
- ✓ Reduzidas deficiências mecânicas;
- ✓ Viabilidade na criação de novos materiais por combinação dos folheados e das madeiras maciças (painéis de lâminas, painéis de aglomerados, entre outros), bem como na incorporação de melhorias na madeira sob vários pontos de vista, nomeadamente na ignifugação, preservação e endurecimento por impregnação;
- ✓ Possibilidade na produção de painéis de grandes dimensões, diminuindo não só o preço de fabrico como também as despesas de aplicação;
- ✓ Permite a aplicação de técnicas de moldagem de forma, originando superfícies curvas;
- ✓ Admite um menor preço para o artigo final através da integração de produtos menos valiosos no interior do painel, sem que haja diminuição das propriedades mecânicas.

- Madeira Folheada-Colada (LVL)

A madeira folheada-colada, LVL (*Laminated Veneer Lumber*), integra a classe da madeira microlamelada colada, a qual possui maior resistência e uma estrutura mais homogênea do que a lamelada colada. Como exemplo

de nomes comerciais deste tipo de material, indica-se o “Microllam”, o “Intrallam” e o “Kerto”, sendo este último o mais utilizado na Europa.

Este material, semelhante ao contraplacado, possibilita a fabricação de painéis sem fibras curvas e a criação de vigas com 9 a 12 cm de espessura, 2 m de altura e cerca de 20 m de comprimento (figura 14). Os valores habituais para o módulo de elasticidade e tensão admissível de flexão, aproximam-se dos 12.000 a 14.000 Megapascals (MPa) e dos 19.000 a 21.000 MPa, respetivamente.

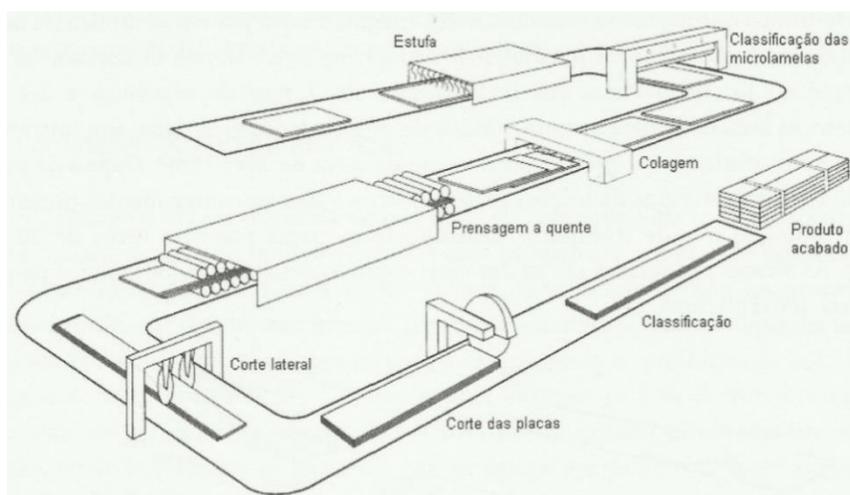


Figura 14 - Fases da produção da *Laminated Veneer Lumber* (Cachim, P., 2007)

A LVL encontra-se regulamentada pela norma europeia “EN 14279: *Laminated Veneer Lumber – Definitions, classification and specifications*”, que ostenta os seus requisitos gerais, como as limitações dimensionais, o teor em água à saída da fábrica, a qualidade da colagem e a durabilidade biológica, para os variados tipos existentes deste produto: LVL/1; LVL/2; LVL/3 (tabela 4).

Tabela 4 - Tipos de Placas LVL

TIPO DE PLACA	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO
Placa microlamelada colada para uso em ambiente seco	LVL/1
Placa microlamelada colada para uso em ambiente húmido	LVL/2
Placa microlamelada colada para uso em ambiente exterior	LVL/3

- Parallel Strand Lumber (PSL)

O *Parallel Strand Lumber*, PSL, conhecido como Parallam®, corresponde ao outro elemento da classe de madeira microlamelada colada, encontrando-se esquematizado na figura 15 o seu modo de conceção, de acordo com Cachim (2007). O procedimento passa então pelo corte de folhas em finas lamelas de 3 mm de espessura e 2,4 m de comprimento, ocorrendo este paralelamente ao fio da madeira. As folhas que formam o PSL possuem um teor de humidade à volta dos 2-3%. Seguidamente, existe a necessidade de se banharem as lamelas em goma para serem introduzidas numa prensa. Deste processo resulta a produção de vigas com secções até 28x48cm² e pilares até 18x18cm², que após alisadas podem ser cortadas em peças de dimensões mais pequenas, com os comprimentos desejados.

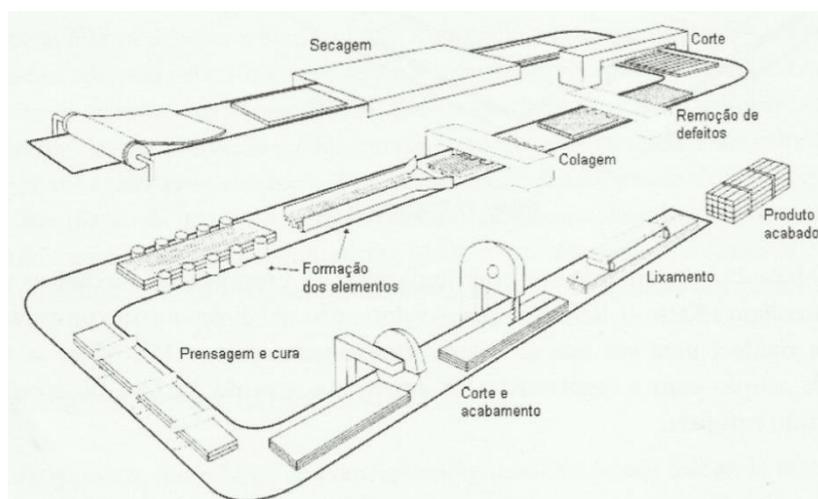


Figura 15 - Fases da produção da *Parallel Strand Lumber* (Cachim, P., 2007)

Uma vez que as peças possuem cerca de 20 m de comprimento, o PSL apresenta como limitação o transporte das mesmas. No entanto, quando comparado com a madeira maciça, este elemento comporta maior resistência (cerca de duas vezes mais), demonstrando também elevada estabilidade dimensional. Como aplicações consideram-se vigas, pilares, elementos de contraventamento e também elementos de vigas treliçadas.

- Laminated Strand Lumber (LSL)

O *Laminated Strand Lumber*, LSL, produzido através de espécies de madeira até 300 mm de comprimento e 30 mm de largura, segue os mesmos pressupostos de fabricação do LVL (figura 16). Assim, as lamelas, de espessura variável entre 0,9 e 1,4 mm, passam por processos de secagem, até se atingirem valores de teor de água entre os 3 e os 7% e, posteriormente, são envolvidas em resina. Podendo combinar diferentes espécies, as lamelas, orientadas paralelamente, formam um colchão de 2,44 m de largura e, no máximo, 14,63 m de comprimento e 140 mm de espessura. De seguida, de modo a que os adesivos adquiram a forma desejada, a

injeção de vapor pressiona o colchão que foi formado. As peças de LSL encontram-se disponíveis em dimensões até 140 mm de espessura, 1220 mm de altura e 14,63 m de comprimento.

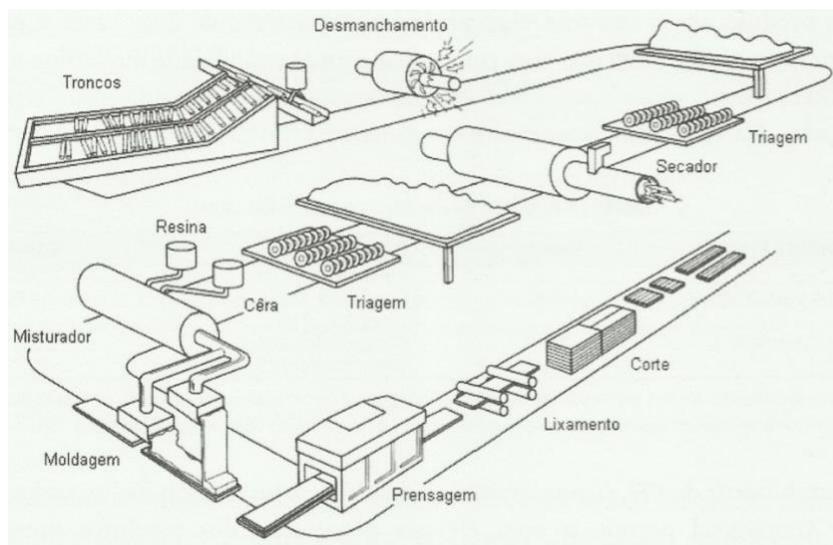


Figura 16 - Fases da produção da *Laminated Strand Lumber* (Cachim, P., 2007)

- Vigas I (*I-Joists*)

As vigas I (figura 17) correspondem a peças estruturalmente eficazes, em forma de I, com resistência a esforços de flexão. Os banzos, criados para assegurar essa resistência, podem ser constituídos por madeira maciça, LVL ou LSL, enquanto que a alma, destinada para resistir aos esforços de corte, pode ser formada por OSB, contraplacados ou aglomerados de partículas de madeira.



Figura 17 - Aplicação de Vigas I em obra (in www.jular.pt)

Este elemento apresenta como grande vantagem a razão resistência/peso, sendo facilmente manuseado por uma ou duas pessoas. Comparativamente à madeira maciça, detém maior resistência e rigidez, demonstrando mais eficácia em grandes vãos e cargas. Apesar da sua ótima capacidade em resistir à retração e ao empenamento, possui como ponto frágil a ligação da alma aos banzos e uma certa instabilidade perante o bambeamento.

O processo de produção deste tipo de material (figura 18), que deve ter em conta as regras estabelecidas no Eurocódigo 5, compreende o fabrico das almas a partir de painéis serrados com as dimensões desejadas, o corte dos banzos e a posterior execução do entalhe para a junção com a alma. De seguida, realiza-se a serração de modo a se obterem as dimensões pretendidas, findando o procedimento com a secagem em estufa.

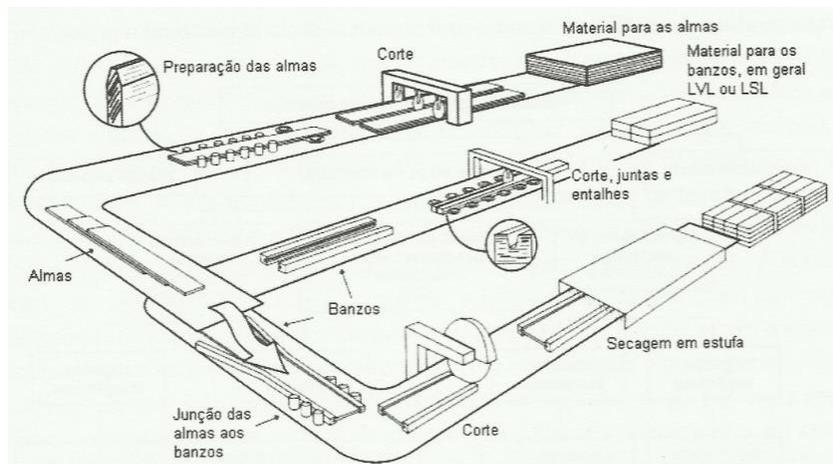


Figura 18 - Fases de produção da Vigas I (Cachim, P., 2007)

2.3.3. Sistemas Pré-Fabricados de Madeira

Os sistemas de construção pré-fabricados de madeira baseiam-se em componentes estandardizados, construídos em fábrica, que possibilitam a edificação do projeto num curtíssimo espaço de tempo, com orçamentos muito competitivos.

Encontram-se dispostos em kits, possíveis de expedir em contentores para qualquer parte do mundo, os quais, pela rápida e fácil montagem que apresentam, estão ao alcance de operários com um nível médio de especialização, ou seja, uma mão-de-obra mais barata.

Disponíveis numa variada quantidade de acabamentos, cada painel contém incorporadas as funções estruturais de isolamento térmico e acústico, revestimento exterior e interior, caminhos de redes, entre outros, permitindo ao cliente um alto nível de personalização da sua construção.

- Painéis de madeira laminada cruzada (CLT)

Os painéis de madeira laminada cruzada, CLT (*Cross Laminated Timber*), produzidos em diversas dimensões (por exemplo: 10cmx40cmx6m), contêm entre 3 a 7 placas empilhadas em várias camadas (figura 19). Estas são coladas alternadamente a altas pressões, com uma orientação de 90°, formando um único elemento estrutural de madeira.



Figura 19 - Aspeto de um painel de CLT (in timberfirst.wordpress.com)

O CLT, indicado na construção de telhados, pavimentos e paredes (figura 20), apresenta vantagens que fazem dele um material muito apelativo relativamente aos restantes materiais de construção. Assim, segundo Cachim (2007), considera-se o CLT:

- Até 6 vezes mais leve que o betão
- Com custo competitivo em relação ao aço e betão
- Criador de espaço, 1/3 mais fino que o Betão
- Diminui o tempo geral da construção
- Requer principalmente habilidades de carpintaria e de ferramentas elétricas



Figura 20 - Aplicação de painel CLT em obra (in www.storaenso.com)

- Placas *O'Portune*

As placas de madeira "*O'Portune*" (figura 21) são constituídas por tábuas de madeira, pregadas ou aparafusadas, conseguindo-se obter secções transversais com uma espessura de 40 mm por 200 mm de altura ou de 75 mm por 225 mm, e um comprimento de 5 m que, em casos especiais, pode atingir os 12 m.



Figura 21 - Aspeto de uma secção de um elemento *O'Portune* (in www.archiexpo.it)

As zonas de maior tensão podem ser reforçadas com painéis Microllam e/ou Kerto, aparafusados ao longo do eixo longitudinal, enquanto a parte superior do painel pode ser coberta com placas OSB (figura 22).

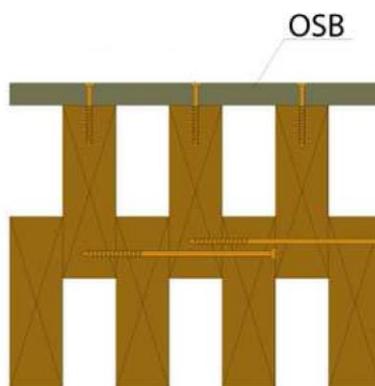


Figura 22 - Secção de um elemento *O'Portune* com fixação aparafusada e cobertura OSB (in www.cbscbt.com)

Segundo o fabricante, o grupo "CBS-CBT", a produção de 100 m² deste tipo de laje, com vão livre de 10 m, reduz cerca de 30 toneladas de CO₂ libertado para a atmosfera, em relação ao betão armado. Também de acordo com a ficha técnica do produto, este apresenta um peso bastante baixo (80 a 120 kg/m²), o que possibilita a sua rápida colocação em obra (500 m²/dia), conforme elucida a figura 23.



Figura 23 - Aplicação do sistema *O'Portune* na reabilitação de uma habitação (in www.cbscbt.com)

Este tipo de sistema, adequado em obras de reabilitação/restauro, permite o uso de materiais de acabamento, embora sejam dispensáveis, uma vez que o próprio produto em si já proporciona conforto visual (figura 24) e acústico.



Figura 24 - Aspeto final da laje *O'Portune* sem o uso de materiais de acabamento (in www.cbs.cbt.com)

- Elementos *Wenus*

Os elementos *Wenus* são outro tipo de solução proposta pelo grupo "CBS-CBT" e apresentam-se sob a forma de "W" (figura 25), cujas placas podem dispor de uma orientação vertical, horizontal ou até mesmo alternada, para um melhor aspeto arquitetónico. O seu emprego como estrutura horizontal pode ser em laje de cobertura, para valores de 4 a 8 m sem qualquer reforço adicional, ou em pavimento, cobrindo-se com um pano de 15 mm de placas OSB. Como estrutura vertical, permite conceber 8 e 10 m de parede.

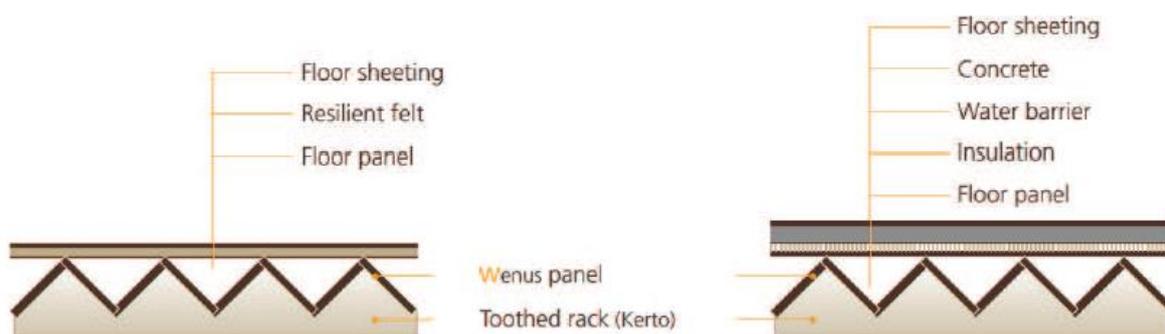


Figura 25 - Duas secções de elementos *Wenus* (in www.cbs.cbt.com)

A multifuncionalidade deste tipo de elemento, não só permite economizar em termos de recursos materiais pois assegura, aproximadamente, 50 mm/m² de madeira para um vão livre de 4 a 5 m, como também a nível monetário, pelo preço competitivo que possui. Para uma laje com elemento *Wenus* e uma placa de OSB de 15 mm, o preço pode atingir aproximadamente 45 a 70 €/m², enquanto que para paredes com aplicações simples de elemento *Wenus*, pode atingir preços que rondam os 30 a 45 €/m², dependendo das quantidades e do tipo de acabamento.

Tal como o sistema *O'Portune*, este produto caracteriza-se como leve e fácil de colocar, o que possibilita a redução dos custos em mão-de-obra. Também se encontra adequado na reabilitação de edifícios (figura 26), garantindo conforto visual com ou sem placa de acabamento complementar. No entanto, para uma melhoria acústica, os elementos *Wenus* podem ser parcialmente preenchidos com areia.



Figura 26 - Aplicação de um sistema *Wenus* num processo de reabilitação (in www.cbs.cbt.com)

- Sistema de Cobertura Vége

Também proposto pelo mesmo grupo, o sistema de cobertura Vége (figura 27), destinado a coberturas, permite a inclusão de um piso extra no telhado, apresentando exclusividade para cada projeto. Montado através de conexões metálicas simples, toda a estrutura deste elemento foi projetada para permanecer visível sem qualquer tipo de cobertura suplementar.

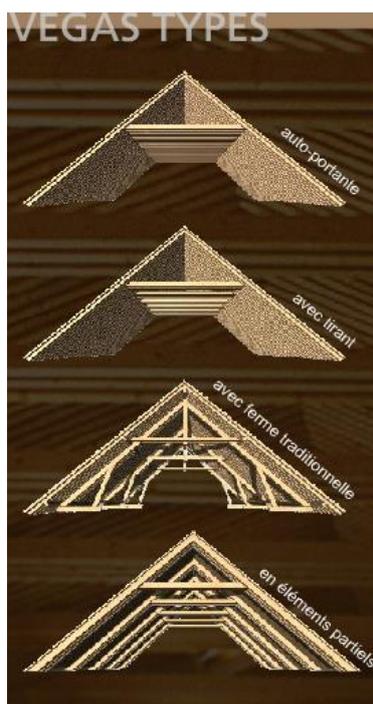


Figura 27 - Diferentes tipos de Sistema Vége (in www.cbs.cbt.com)

- Elementos *Kielsteg*

Os elementos *Kielsteg* (figura 28), construídos em madeira leve e forte, são formados por duas pranchas (superior e inferior) com tiras de madeira (contraplacado ou OSB) no interior (figura 29), na forma de ziguezague. A superfície inferior, esteticamente agradável, pode ser utilizada sem revestimento.



Figura 28 - Secções *Kielsteg* (in www.kielsteg.at)



Figura 29 - Aspeto da lage *Kielsteg* com tiras de contraplacado e de OSB, respetivamente (in www.kielsteg.at)

Este tipo de solução, normalmente utilizado em edifícios com grandes vãos livres para a criação de telhados e/ou pisos estruturais (figura 30), tem a capacidade de conceber coberturas que se projetam em consola, possibilitando o seu emprego em cavidades internas para a cablagem e tubagem.



Figura 30 - Aplicação de um sistema *Kielsteg* (in www.kielsteg.at)

Abaixo, segundo Cachim (2007), encontram-se indicadas as principais vantagens do sistema *Kielsteg*.

Vãos livres até 27 m
Alto nível de pré-fabricação e qualidade
Instalação rápida
Excelente relação resistência/peso

- Sistema Et³

O sistema Et³ (figura 31), composto por vidro e madeira, foi desenvolvido em Portugal pelo grupo DST (Domingos da Silva Teixeira) e ISISE (*Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering, University of Minho*), com a liderança do Arquiteto José Pequeno. Podendo ser aplicado como laje ou parede e empregue tanto em edifícios novos como na reabilitação, assume funções relacionadas com a estética e a gestão de energia térmica. “Ao mesmo tempo que desempenha o seu papel estrutural, este sistema permite a penetração de luz natural nos edifícios, recolhendo o calor solar” (Pequeno & Cruz, 2009).



Figura 31 - Protótipo do sistema Et3 (in www.dstgps.com)

A pré-fabricação tornou a construção com madeira rápida e económica, através do fabrico de produtos bastante vantajados. Aspectos como a pré-fabricação, o controlo de custos e a transportabilidade influenciam decisivamente na qualidade do produto que se destina a ser modular. Deste modo, para que estes e outros aspectos sejam cumpridos, estes materiais são sujeitos a severos controlos de qualidade, a qual é salvaguardada por normas e licenças definidas.

2.4. Sustentabilidade

Face à necessidade urgente de inverter o atual processo de degradação acelerado da Terra, o conceito de sustentabilidade foi assumindo um papel cada vez mais significativo em todos os setores (Bragança & Mateus, 2006).

Na indústria da construção, por exemplo, desenvolveram-se várias conferências no sentido de estimular e aprimorar a aplicação da sustentabilidade nas atividades construtivas. Enquanto que, tradicionalmente, as preocupações incidiam somente na qualidade do produto, nos custos associados e no tempo gasto, a construção sustentável propôs novas orientações relativamente à conceção, construção, operação e demolição, de modo a permitir um melhor desempenho ecológico e a satisfação das necessidades humanas, protegendo e preservando simultaneamente a qualidade ambiental e os recursos naturais.

O termo sustentabilidade na construção encontra-se assim associado à responsabilidade que os construtores devem assumir na procura de soluções que promovam um melhor desempenho energético-ambiental do meio edificado e conseqüentemente o bem-estar da população. Brundtland (1987) define o conceito como a “capacidade da humanidade garantir que corresponde às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de assegurarem as suas próprias necessidades. O desenvolvimento sustentável não é um estado fixo de harmonia, mas um processo de mudança no qual a exploração de recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e as mudanças institucionais são compatibilizadas com as necessidades futuras assim como as presentes”.

Tendo em conta o elevado impacto negativo que a indústria da construção provoca no nosso planeta, nos dias de hoje, o termo sustentabilidade constitui, sem dúvida, uma preocupação real para todo este setor. Segundo Lipor, Agenda 21 (2014), só durante a fase de construção são produzidos mais de 50% dos resíduos, consumidos cerca de 50% dos recursos naturais e mais de 40% de energia (nos países industrializados, sendo em Portugal cerca de 20% da energia total do país) e produzidas cerca de 30% das emissões de CO₂.

Deste modo, devido à grande quantidade de recursos que consome, à quantidade de resíduos que produz, à sua influência na economia do país e à sua relação com a sociedade, o setor da construção representa um papel importante nos objetivos e metas que regem o desenvolvimento sustentável. Tal implica a escolha e utilização eficiente dos recursos, a minimização de resíduos, a redução no consumo de energias primárias e na produção de CO₂, ou seja, questões associadas à qualidade de vida, bem-estar e biodiversidade.

Para caminhar no sentido de transformar as construções em produtos mais sustentáveis, é também necessário a utilização de materiais de construção mais sustentáveis, de origem natural e local, com baixo valor de energia

incorporada, ou seja, materiais reutilizáveis/recicláveis, eco-eficientes (materiais que, durante o ciclo de vida, desde a fase de extração até à devolução ao meio ambiente, possuem um baixo impacto ambiental). Não esquecendo de contemplar, adequadamente, planos de gestão ambiental durante a execução da obra, de forma a minimizar desperdícios e consumos desnecessários.

Um novo rumo para o sector da construção em Portugal tornou-se então imperioso, constituindo a manutenção e a conservação de edifícios uma forte aliança, pela necessidade de um reordenamento do território com base num planeamento urbano adequado, como em tornar a indústria da construção mais eficiente, relativamente ao consumo energético, indicando-se estes compromissos como assumidos por Portugal e pela União Europeia no âmbito do Protocolo de Quioto e do desenvolvimento sustentável (Agenda 21, 2014).

2.4.1. Reabilitação

A necessidade de pensar no bem-estar e qualidade de vida dos cidadãos, a nível económico, social e ambiental, e não apenas na construção como geradora de emprego, conforto, funcionalidade, riqueza e desenvolvimento, deu ênfase à manutenção e conservação de edifícios (Cruz, 2007).

Os edifícios possuem uma vida útil limitada e seguem um processo de envelhecimento desde a sua construção até à sua reabilitação e demolição. Inevitavelmente, com o passar dos anos, os edifícios tendem a deteriorar-se, através de ações físicas, químicas e mecânicas a que estão submetidos, chegando a atingir um estado de degradação que não é compatível com o conforto e a segurança estrutural previstos durante a fase de projeto, podendo mesmo em casos extremos verificar-se a sua ruína total ou parcial.

Considerando a reabilitação, segundo Cóias (2007) como a execução de operações de reparação, renovação e modificação, que visam a conservação e manutenção (muitas vezes menosprezadas) do parque edificado para um maior período de vida útil, esta revela-se como uma estratégia extremamente positiva sob variadíssimos pontos de vista. Reutilizar edifícios possibilita a redução da extração de matérias-primas, uma menor produção de materiais de construção e resíduos, a diminuição da necessidade de transporte de materiais, sendo as atividades a realizar muito mais circunscritas e os estaleiros mais reduzidos. Já a nova construção, conduz a um crescimento urbano excessivo, à extração de grandes porções de meio - terrestre, marinho e fluvial - cruciais para o equilíbrio natural, elevados consumos energéticos, emissões excessivas de CO₂ e também de outros poluentes.

Na reabilitação de edifícios consome-se notavelmente menos recursos que na execução de uma nova construção para a mesma parcela de terreno, considerando-se os gastos relativos à demolição e ao reencaminhamento de resíduos. Existem situações em que o normal funcionamento do edifício nem precisa de ser interrompido, quando, por exemplo, se pretende resolver casos ao nível da envolvente construtiva, tais como

fissuras e desagregação do revestimento original, melhorar o comportamento térmico e atualizar a identidade urbana do edifício em termos estéticos.

Os edifícios contruídos comportam uma imensa quantidade de valores que importa serem preservados, sendo parte integrante da identidade do local onde se encontram implantados. Este património engloba não só edifícios monumentais – palácios, igrejas, castelos, conventos, mas também edifícios habitacionais, industriais e comerciais que, isoladamente ou em conjunto, ajudam a entender e a representar as formas como ao longo do tempo o homem se organizou, viveu e trabalhou, nas diferentes épocas, de uma maneira bastante marcante. Assim, os edifícios têm que ser vistos como um recurso valioso e não como algo que se usa e deita fora, devendo por isso ser objeto de alguns investimentos periódicos que salvaguardem a sua conservação (Appleton, 2003).

Atualmente tem-se realizado amplos programas de recuperação de edifícios antigos, destacando-se a reconstrução de Angra do Heroísmo, após o sismo de 1980, e a recuperação de centros antigos de cidades e vilas, sendo exemplos disso a Ribeira/Barredo, no Porto, a Alfama e Mouraria, em Lisboa, Évora, Guimarães, Braga, hoje dispersos por quase todos os municípios nacionais.

Na região Norte, e dando especial relevância à cidade do Porto que foi classificada como Património Mundial da UNESCO, existem vários edifícios datados do século XIX que se encontram notoriamente degradados. E por isso, em 2004, de maneira a recuperar o centro histórico, procedeu-se à implementação do programa Porto Vivo, SRU - Sociedade de Reabilitação Urbana da Baixa Portuense S.A., o qual visa promover a reabilitação de algumas zonas no sentido de se fazer cumprir com os níveis de satisfação e conforto no interior das habitações, face às exigências funcionais atuais, aumentando assim os níveis de qualidade de vida (Porto Vivo - Sociedade de Reabilitação Urbana, 2007).

A reabilitação urbana apresenta-se portanto como uma prioridade nacional, e uma oportunidade de intervenção ativa para a revitalização das cidades e melhoria do desempenho energético-ambiental do meio edificado.

2.4.2. Contributo da Madeira como Solução Sustentável

Num momento em que se aborda recorrentemente as questões ambientais e de sustentabilidade, a madeira apresenta-se como um material de construção de excelência, relativamente aos restantes materiais de construção (betão, aço e alumínio), não só pelas propriedades mecânicas que possui, mas pelo facto de ser “amiga do ambiente” e natural (Silva, Dias, & Lousada, 2013).

Considerando todas as fases do ciclo de vida de uma estrutura: produção, uso e degradação, a madeira é dos produtos que despende menor energia para a sua transformação. Em comparação à energia necessária para produzir uma tonelada de madeira face a outros materiais (figura 32), Torres (2010) verifica:

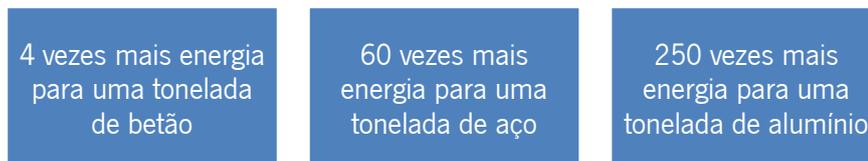


Figura 32 – Energia necessária para produção de materiais (in Torres, J., 2010)

O baixo custo energético e o nível de poluição dispensado na sua produção garante um impacto ambiental muito menor quando comparado com outro tipo de estruturas, podendo contribuir significativamente para a inversão do atual processo de degradação acelerado dos recursos naturais da Terra. Nos Estados Unidos da América os produtos de madeira perfazem 47% de todos os materiais produzidos, consumindo apenas 4% do total de energia necessária para produzir os restantes materiais (Jerónimo, 2009).

Além dos consumos de energia, a madeira apresenta outra característica muito apreciável em termos de sustentabilidade. Este produto, ao contrário dos outros materiais, consegue absorver CO_2 e, embora este processo seja mais intenso enquanto a madeira é jovem, mesmo na fase envelhecida possui esta propriedade. Assim, quando se corta uma árvore, o carbono que esta contém é retido pela sua estrutura celular, permanecendo num estado "dormente" por muitos anos. Só quando a madeira arde ou se biodegrada é que o carbono é de novo libertado para a atmosfera, pelo que a madeira usada na construção, através do fabrico de produtos de grande durabilidade (móveis, caixilharia, estruturas, papel, entre outros), possibilita o armazenamento de grandes quantidades de carbono por longos períodos de tempo (Barroso, 2006). A título de exemplo referiu a *The Open Academy*, em Norwich, que no Reino Unido se conseguiu armazenar 2325 toneladas de CO_2 , o que corresponde a um balanço negativo de CO_2 durante pelo menos 20 anos.

Tratando-se de um recurso renovável, reciclável e biodegradável, amplamente disponível em várias regiões do mundo, os derivados deste composto provêm, não só dos toros dos troncos das árvores, mas também da reutilização de serrilha, desperdícios de construção e do processo de produção. A reciclagem é assim usada para a fabricação de diversos aglomerados e para a produção de secções estruturais e sistemas pré-fabricados. Este constante reaproveitamento dos resíduos da madeira amplifica o seu ciclo de vida na construção, tal como se pode observar na figura 33 abaixo apresentada.



Figura 33 - Ciclo de vida da Madeira (in <http://www.pavconhecimento.pt/>)

A análise do ciclo de vida da madeira (figura 33) mostra que esta tem melhor desempenho que o aço ou o betão no que se refere à energia incorporada, emissão de gases, libertação de poluentes para o ar, produção de poluentes para a água e produção de resíduos sólidos. A madeira apresenta, por isso, vantagens e propriedades que a tornam num material fundamental para a racionalização ecológica de qualquer construção, favorecendo a diminuição do impacto ambiental, nomeadamente o consumo energético, a utilização de recursos e a poluição.

O uso da madeira como material de construção deve ser sempre efetuado de forma sustentável, de maneira a garantir o reforestamento, a biodiversidade das espécies e o equilíbrio ambiental. Explorando as florestas de modo sustentado, estas são capazes de manter o dinamismo biológico, no qual o crescimento e a consequente fixação de CO₂ ficam assegurados. Desta forma, as florestas devem incluir um sistema de florestação sustentável, através de uma contínua renovação e reforestação de forma faseada para existirem sempre árvores de diferentes idades, necessitando para isso de ser alvo de um planeamento, tendo em conta o povoamento florestal inicial, a biodiversidade, bem como a qualidade do solo e da água específicos de cada região (Direção Nacional de Gestão Florestal, 2010).

A construção à base deste material representa variadíssimas vantagens sob os mais diferentes pontos de vista, o que fundamenta os cerca de 90% de construção habitacional em madeira em países desenvolvidos como Noruega, Suécia, Canadá e Austrália (Marques, 2008). As propostas de classificação dos edifícios, com vista a promover uma construção sustentável, favorecem a madeira como um material a utilizar (Zenid, et al., 2009).

2.5. Vantagens e Inconvenientes

Há um número razoável de características inerentes à madeira que fazem com que esta seja um material ideal para utilizar na construção civil. Isso inclui o que já tem vindo a ser referido, designando-se a madeira como um material estrutural durável, natural e de grande apelo arquitetónico (Cruz, Negrão, & Branco, 2004). Pelas possibilidades ilimitadas que oferece, tornou-se um material estrutural desafiador e exemplo disso são as inúmeras vantagens que apresenta, de acordo com Coutinho (1999), as quais se encontram listadas abaixo (figura 34).

Pode ser obtida em grandes quantidades a um preço relativamente baixo. As reservas renovam-se por si mesmas, tornando o material permanentemente disponível - equilíbrio ecológico

Pode ser produzida em peças com dimensões estruturais que podem ser rapidamente desdobradas em peças pequenas, de delicadeza excecional

Baixo consumo de energia na produção - a produção de 1kg de madeira consome 1kJ de energia (para 1 kg de aço são necessários 4kJ e para um 1kg de alumínio 142kJ)

Foi o primeiro material empregue capaz de resistir tanto a esforços de compressão como de tração. Também apropriado a esforços de flexão

Tem uma baixa massa volúmica e resistência mecânica elevada (pode apresentar a mesma resistência à compressão que um betão de resistência razoável, enquanto que a resistência à flexão pode ser 10 vezes superior à do betão, assim como a resistência ao corte)

Resiste a altas temperaturas por um longo periodo de tempo, sem perder as características mecânicas (sob as mesmas condições ocorre o colapso do betão, do aço e do alumínio)

Não estilhaça quando submetida a choques bruscos que romperiam ou fendilhariam outros materiais de construção

Pode ser trabalhada com ferramentas simples e ser reempregue várias vezes - fácil de utilizar

Permite ligações e emendas fáceis de executar por meio de pregos, parafusos, parafusos de porca, cavilhas, anéis e placas denteadas

Apresenta boas condições de absorção acústica e isolamento térmico (a madeira é 15 vezes melhor que o betão, 400 vezes melhor que o aço e 1770 vezes melhor que o alumínio)

Material inflamável mas cuja resistência ao fogo é plenamente calculável

Pode ser reutilizada, por várias vezes - renovável, reciclável, biodegradável

Material versátil, de beleza arquitetónica e variedade de padrões

Figura 34 – Vantagens da Madeira (in Coutinho, J., 1999)

Em contraposição, e também de acordo com Coutinho (1999), a madeira apresenta algumas desvantagens, mencionadas de seguida (figura 35), que devem ser cuidadosamente levadas em consideração aquando o seu emprego como material de construção.

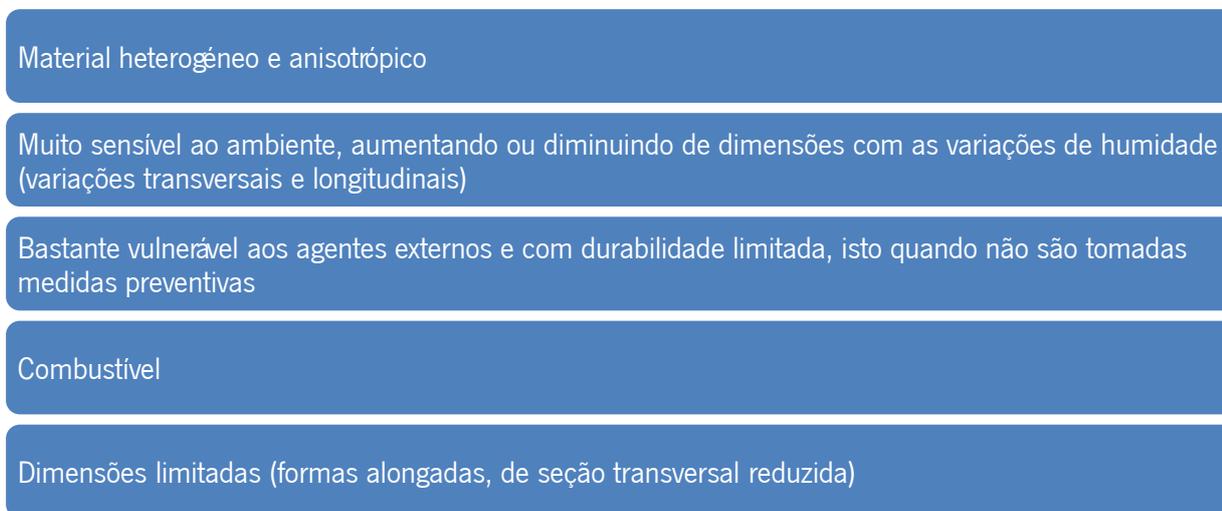


Figura 35 – Desvantagens da Madeira (in Coutinho, J., 1999)

Estes inconvenientes que lhe são apontados encontram-se maioritariamente relacionados com o comum desconhecimento e/ou negligência acerca dos fatores que interferem no seu desempenho e durabilidade, bem como o descuido com manutenções periódicas de que a madeira deve ser alvo, o que contribuiu para que, numa determinada época, a madeira fosse ultrapassada pelo aço e pelo betão armado (Petrucci, 1975).

Contudo estes e outros problemas conseguiram hoje em dia ser colmatados pelo desenvolvimento de soluções que permitiram melhorar o desempenho e anular as características negativas da madeira. As limitações, ao nível das dimensões das secções transversais retas de madeira natural serrada e vãos, devido ao comprimento finito das árvores e defeitos naturais, foram assim ultrapassadas pelas recentes evoluções de materiais compósitos e produtos derivados da madeira, como por exemplo, o MDF, o OSB e as placas de aglomerados. Juntas denteadas e várias técnicas de laminação possibilitaram então a obtenção de elementos de qualidade superior e em qualquer forma e tamanho, de fácil montagem, sendo o transporte a única limitação.

As características dos elementos pré-fabricados de madeira permitem que estes constituam uma alternativa viável em aplicações em que o betão armado seria a opção mais tradicional. Também surgem aplicáveis em muitos empreendimentos em que a utilização de betão armado/aço não se revelam a melhor escolha devido ao elevado peso próprio da estrutura ou por não se tornarem rentáveis do ponto de vista de recursos (mão-de-obra e equipamento) e calendarização (Jalali & Torgal, 2008).

As estruturas de madeira conseguem ser extremamente duráveis se corretamente tratadas, dimensionadas e construídas, bem como facilmente reabilitadas, alteradas e reparadas. Há numerosos exemplos de edifícios

históricos, em todo o mundo, onde ainda persistem estruturas de madeira. Estima-se que uma típica casa de 200 m² feita em madeira consegue armazenar cerca de 30 toneladas de CO₂, o que é equivalente a sete anos de emissões de um pequeno carro (Marques, 2008). Salienta-se ainda, segundo o mesmo autor, que uma casa de madeira oferece uma poupança energética de pelo menos 30% comparativamente à alvenaria, com os mesmos acabamentos. A madeira, por ser um isolante térmico natural, absorve o calor e/ou frio mais lentamente que outros materiais. Por isso, ao toque a madeira nunca se encontra extremamente quente ou fria, o que não acontece com o cimento, o tijolo, a cerâmica ou o aço. Tais factos demonstram o quão importante é a utilização da madeira como material de construção (Nunes & Cruz, s.d.).

Desta forma, e dado que a madeira lamelada colada conjuga os benefícios de um material melhorado com a aparência estética da madeira maciça, ela entrou no mercado como um material de recurso a novas soluções estruturais no âmbito da reabilitação, sendo por isso cada vez mais utilizada neste campo de intervenção (Castells & Laperal, 2011).

3. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS EM EDIFÍCIOS

Caraterizando-se a madeira como um material versátil e com distinta beleza arquitetónica pode-se verificar, através da figura 36, a sua utilização para diversos fins (Ferreira, 2014).



Figura 36 – Diversas soluções construtivas (in Marques, L., 2008)

Na recuperação de edifícios antigos em madeira existem duas técnicas tradicionais distintas: as taipas (paredes estruturais) e os tabiques (paredes divisórias). Um processo construtivo específico das taipas é a denominada “gaiola pombalina”, que foi criada a mando de Marquês de Pombal, após o violento terramoto de 1755 em

Lisboa, com o intuito de criar uma estrutura com grande robustez, boa capacidade para suportar cargas verticais e excelente desempenho face às ações horizontais, ou seja, sismos e ventos (Poletti, Vasconcelos, & Lourenço, 2014). Este tipo de paredes consiste numa armação de madeira, embebida no maciço de alvenaria, à face da parede interior. Já os tabiques têm a principal função de compartimentação e podem ser utilizados em edifícios de vários pisos, uma vez que são constituídos por material de baixo peso. A construção destes é feita por uma grelha de madeira formando um entrelaçado com colocação posterior de uma camada fina de terra, palha, argila e fibras vegetais.

Assim, a madeira pode ser utilizada sob diversas formas na conceção das mais pequenas às maiores e mais pesadas estruturas, desde mobiliário, pavimentos flutuantes, postes para passagem de cabos, deck, vedações de terrenos, utensílios, caixas, paletes, a barris, com a possibilidade de se usar diferentes mecanismos e tipos de madeira e seus derivados (figura 37). Como exemplos de componentes à base de elementos pré-fabricados de madeira, seguem-se:



Figura 37 – Soluções construtivas à base de elementos pré-fabricados de madeira

3.1. Descrição Arquitetónica e do Sistema Construtivo

Portugal contém um parque edificado bastante diversificado e feita uma análise a todos os elementos que o constituem consegue-se perceber o processo evolutivo da atividade construtiva do país (Appleton, 2003).

A maior parte desse edificado considerado histórico foi iniciado posteriormente à catástrofe do terramoto de 1755 em Lisboa. Após o desastre, foi necessário reavaliar o sistema construtivo até então utilizado, tal como os materiais empregues, de modo a minimizar danos se novo desastre acontecesse. Assim, foram estabelecidas uma série de regras para a construção de edifícios, sendo requisito a resistência a ações sísmicas.

A construção tradicional Portuguesa apresentava como máxima a rentabilidade na utilização dos recursos naturais existentes em cada região, procurando manter o estilo arquitetónico da época, influenciado pelo fator geográfico e sociocultural. Este tipo de construção caracterizava-se pela predominância de dois materiais essenciais, a madeira e a alvenaria de pedra, dada a boa resistência e o fácil manuseamento.

No entanto, este sistema construtivo foi evoluindo ao longo dos tempos, tendo-se registado várias mudanças quanto à arquitetura, tecnologia, estrutura e tipologias construtivas, pelo que a existência ou não destes dois materiais demarca a época construtiva. Algumas das alterações introduzidas foram, sobretudo, com o intuito de uma maior resistência à ação sísmica, onde, nesses casos, as estruturas de madeira atuavam como atenuantes (Appleton, 2003).

A maior parte dos edifícios antigos eram utilizados para responder a duas necessidades funcionais: comercial e habitacional. Normalmente o rés-do-chão estava destinado ao comércio e os restantes pisos à habitação.

No século XVIII, os edifícios dos grandes centros urbanos variavam entre dois a quatro pisos, com um pé direito reduzido, grandes espessuras de paredes em alvenaria de pedra e poucas aberturas para o exterior. As paredes que constituíam o perímetro do edifício eram em alvenaria grossa e tinham como função suportar as estruturas adjacentes. Os pavimentos térreos ora eram em terra ora em blocos de pedra, dependendo da região da implantação do edifício. Quanto aos pavimentos dos restantes pisos, estes eram construídos em madeira, utilizando-se, para tal, vigas em barrotes que assentavam sobre as paredes grossas de alvenaria de pedra e o soalho em tábuas de madeira. As divisórias de compartimentos interiores eram em tabique resistente, formado por tábuas e ripas de madeira rebocadas a argamassa à base de cal. O acesso às habitações era realizado através de escadas interiores em estrutura de madeira, apoiada nas paredes de alvenaria de pedra, que vencia um só piso num lanço. Relativamente às coberturas, estas eram feitas em elementos estruturais de madeira, tendo como revestimento telhas de canudo. Estas coberturas podiam ser de duas, de três ou de quatro águas.

Nos finais do século XIX apareceu o ferro, o qual se utilizava tanto para componentes verticais como para vigas que possibilitavam a execução de vãos maiores. As estruturas metálicas foram também bastante usadas na construção de caixas de elevador, o que fez com que as escadas passassem a ser de quatro lanços.

No século XX, a época ficou marcada pelo aparecimento de um novo material de construção, o betão armado, utilizado para novas construções (em lajes maciças, vigas, pilares), substituindo assim as soluções construtivas à base de alvenaria de pedra e elementos de madeira. As paredes exteriores eram compostas por paredes simples de alvenaria de bloco ou paredes duplas de alvenaria de tijolo, sendo as paredes divisórias em alvenaria de tijolo. Os pavimentos tanto eram em lajes maciças como em lajes aligeiradas, constituídas por vigotas e abobadilhas cerâmicas. Os edifícios de betão armado atingiam uma cêrcea média de seis a oito pisos.

Nos dias de hoje, o sistema construtivo à base de betão armado e de alvenaria de tijolo continua a ser predominante, embora a atividade construtiva se mantenha em constante evolução em prol das questões ambientais, socioeconómicas e da procura por parte da população de um nível de conforto e estético cada vez maior e melhor.

Entende-se assim que os edifícios antigos são sistemas de construção mais básicos do que os atuais e, por isso, compostos por menos elementos e distintos materiais de construção. São apenas cinco os elementos estruturais que se encontram presentes e constituem este tipo de edifícios, indicando-se as fundações, as paredes, os pavimentos, as escadas e as coberturas.

1. Fundações

As fundações de um edifício correspondem a elementos estruturais responsáveis pelo suporte do peso da estrutura, transferindo os esforços para o solo. O género de fundação que se utilizava era bem ponderada numa fase preliminar, uma vez que dela dependia a segurança e o normal funcionamento do edifício. O sistema de fundações podia ser constituído tanto por um conjunto de elementos de alvenaria de pedra, como por estacas de madeira.

Os tipos e as dimensões das fundações (figura 38) variavam em relação ao terreno, sendo que, quanto maior fosse a largura da base da fundação que absorvia os esforços, menor era a tensão exercida (fundação semi-direta). No entanto, se o terreno apresentasse resistência não havia a necessidade de aumentar à largura da base da fundação (fundação direta). Quando o terreno demonstrava pouca resistência, utilizavam-se as fundações indiretas, constituídas por estacaria de madeira, que pelo comprimento que exibiam perfuravam os estratos de terrenos moles.

Em várias zonas da cidade do Porto, as fundações atingem baixas profundidades, uma vez que se encontram sobre afloramentos rochosos. Com isto, entende-se que a profundidade e a largura de uma fundação, embora

determinada de forma empírica, está diretamente relacionada com a qualidade do solo da implantação do edifício.

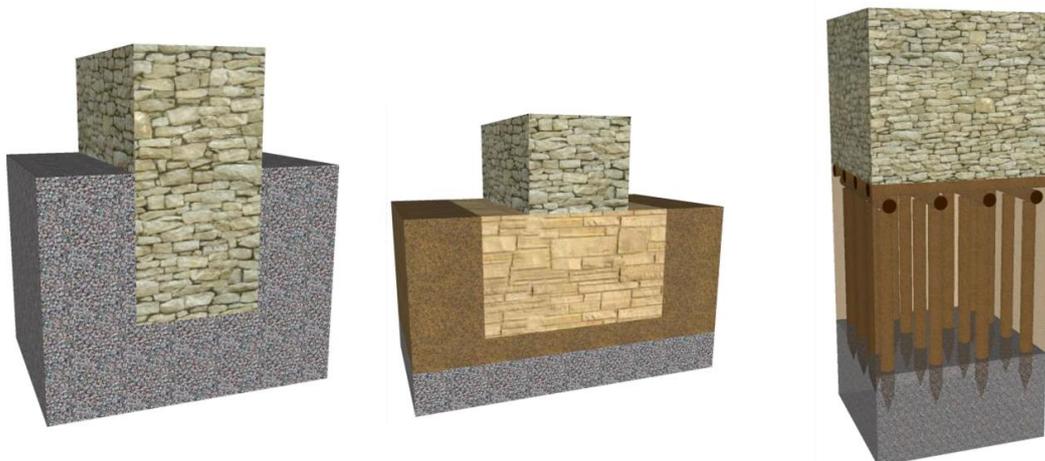


Figura 38 - Exemplo dos diferentes tipos de fundação (Moreira, M., 2009. Dissertação de Mestrado)

2. Paredes

As paredes de alvenaria de pedra são consideradas os elementos mais importantes na construção de uma habitação, uma vez que têm total responsabilidade pela segurança estrutural da edificação. As ações verticais causadas pelo próprio peso e a sobrecarga da alvenaria de pedra, constituem fatores importantes na estabilidade das paredes, os quais promovem uma resistência capaz de suportar as ações dos ventos e dos sismos, como também de salvaguardar o interior das habitações de agentes atmosféricos.

As paredes de meação e das fachadas (figura 39), também designadas de mestras, em alvenaria, apresentavam uma espessura média de 30 cm para paredes de meação e 70 cm para paredes de fachada. Exteriormente, estas paredes podiam exibir a própria pedra ou serem revestidas a reboco, pintura ou azulejos. No interior, estas paredes eram normalmente emboçadas e regularizadas com argamassa de cal.

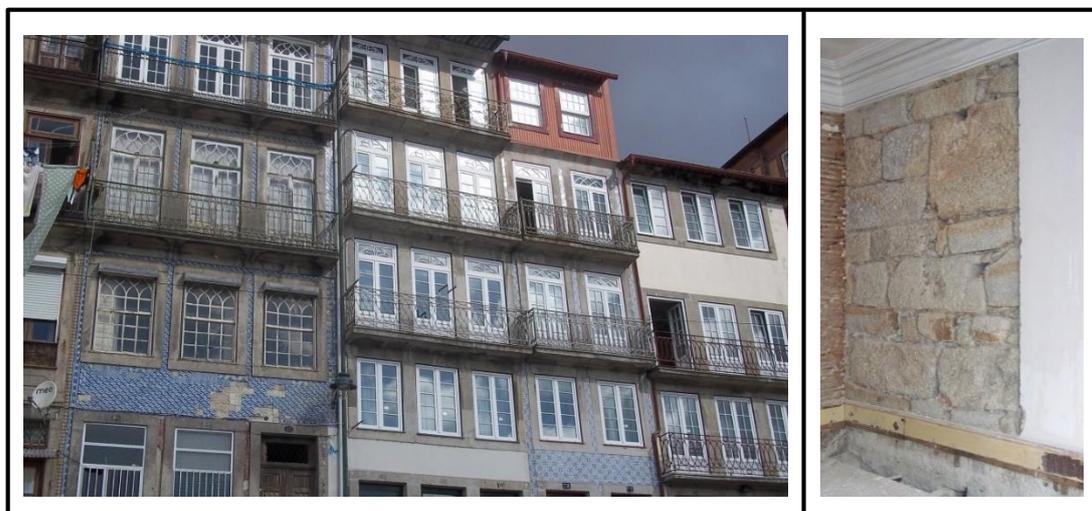


Figura 39 - Fachada de um edifício recorrente da cidade do Porto e parede de meação pelo interior (Autoria própria)

As paredes interiores definiam os vários compartimentos e contribuíam para a estabilidade do edifício, pela capacidade de redistribuição de esforços atuantes, embora não desempenhassem funções estruturais. Designadas por divisórias, estas eram habitualmente em tabique (figura 40), construídas por um conjunto de tábuas dispostas na vertical e na diagonal, com cerca de 2 cm de espessura, nas quais eram pregadas um fasquiado de madeira, para depois serem revestidas com reboco à base de cal. Este tipo de sistema era bastante usual na região do norte e centro.



Figura 40 - Paredes em tabique (Autoria própria)

No sul, o sistema utilizado era um pouco diferente. Criado na época Pombalina, era constituído por uma treliça em madeira que era preenchida por bloco cerâmicos (figura 41). Este sistema tinha como grande vantagem a capacidade de resistir a esforços, nomeadamente a horizontais, uma vez que a zona de Lisboa era considerada de grande sismicidade.



Figura 41 - Exemplo de paredes interiores pelo sistema de "Gaiola Pombalina" (Appleton, J., 2011)

3. Pavimentos

Os pavimentos representam estruturas horizontais que suportam as paredes interiores e o seu próprio uso, sendo dos componentes mais importantes na constituição de uma edificação devido ao dimensionamento da estrutura.

A estrutura dos pisos ou sobrados era constituída por um vigamento de troncos de madeira, dispostos paralelamente entre si, com um afastamento entre os 50 e os 70 cm, apresentando uma “modulação” que começava e terminava com uma viga encostada às paredes das fachadas. O vigamento, com diâmetros entre

os 20 e os 30 cm e comprimentos que dependiam da largura das casas, nunca excedendo os 7 m, encontrava-se então apoiado nas paredes de meação (figura 42) com uma entrega de cerca de dois terços da espessura, ou em alguns casos, sustido em toda a espessura, sendo travado por tarugos espaçados em média 1,5 m (Teixeira, 2004).



Figura 42 - Troncos de madeira apoiados nas paredes de meação com revestimento de soalho (Autoria própria)

O revestimento que se utilizava nos pisos eram tábuas de soalho colocadas de forma paralela sobre o vigamento. Quanto aos tetos, estes eram constituídos por um tabuado pregado diretamente no vigamento, no qual era aplicado um fasquiado de madeira de modo a diminuir os espaços e a possibilitar o emprego do reboco ou do estuque de gesso (figura 43).



Figura 43 - Constituição e acabamento de tetos (Autoria própria)

4. Escadas

Nestes edifícios, a ligação entre os vários pisos realizava-se através de escadas (figura 44) constituídas por dois ou três lanços, exceto no acesso ao rés-do-chão em que as escadas apresentavam apenas um único lanço. As escadas eram formadas por duas ou três vigas “pernas”, consoante a largura dos lanços, que se encontravam apoiados nas cadeias dos patamares de piso e dos patamares intermédios, os quais eram compostos por cadeias e chincharéis. Os espelhos e cobertores dos degraus eram colocados sobre as vigas pernas (Teixeira, 2004).



Figura 44 - Escadaria de um edifício típico (Autoria própria)

5. Coberturas

As estruturas de cobertura possuem variadas soluções relativamente à geometria, forma estrutural e materiais constituintes. Podem, por isso, apresentar um formato curvilíneo, plano ou inclinado, sendo este último o mais utilizado e encontrado nos edifícios antigos (figura 45).



Figura 45 - Diversidade de tipologias de coberturas (in www.portopatrimoniomundial.com)

As coberturas inclinadas eram normalmente compostas em estrutura de madeira e revestidas em telha cerâmica. Possuíam habitualmente claraboias e/ou lanternins, localizados junto à caixa de escada, que permitiam a passagem de luz natural, garantindo assim uma iluminação interior eficiente e económica (figura 46).



Figura 46 - Constituição da estrutura de cobertura (in www.tecniwood.pt)

A forma e a composição das estruturas em madeira diferem conforme a dimensão e a utilização do edifício, usualmente com a funcionalidade de sótão ou mansarda. As ligações neste tipo de estrutura, geralmente realizadas por elementos metálicos diversos, como tês, pés de galinhas, cruzetas, entre outros, são bastante importantes. Outro tipo de ligação é normalmente executado através de samblagens.

Assim, a madeira, isoladamente ou em associação com a alvenaria, constituiu durante séculos o material usado nas estruturas dos edifícios. Mesmo após a generalização do uso do betão armado, as coberturas de madeira permaneceram frequentes.

Existem, por exemplo, igrejas na Noruega e templos no Japão que sobreviveram durante mais de mil anos sem necessidade de substituição de qualquer elemento. Em Portugal, há igualmente vários casos de estruturas de madeira que subsistiram durante dezenas ou até mesmo centenas de anos, no caso, por exemplo, das estacas da baixa pombalina em Lisboa que resistiram até aos dias de hoje em boas condições de funcionamento.

Para que isto seja garantido, é evidente que a durabilidade da madeira depende de um projeto adequado tendo em consideração a sua duração natural, as possibilidades de preservação e um bom desenho de pormenores construtivos.

No entanto, o estado de degradação natural destes edifícios é inevitável e tem suscitado inúmeras preocupações. Aliado a este fator, bem como às oportunidades de emprego e facilidades de mobilidade nos centros urbanos, a reabilitação ganhou uma posição de destaque perante a nova construção, sendo cada vez mais utilizada.

3.2. Considerações Técnicas

Nas obras com madeira, os defeitos podem ser das peças ou do conjunto estrutural. Uma mesma manifestação pode ter diversas causas, derivando as patologias normalmente das cargas atuantes, do modelo da peça estrutural e das peculiaridades da sua utilização. Assim, neste subcapítulo abordam-se questões associadas ao desempenho dos edifícios que utilizam como tecnologia construtiva a madeira, fazendo uma análise aos cuidados a ter no emprego de estruturas deste tipo de material.

❖ Agentes de deterioração (figura 47)

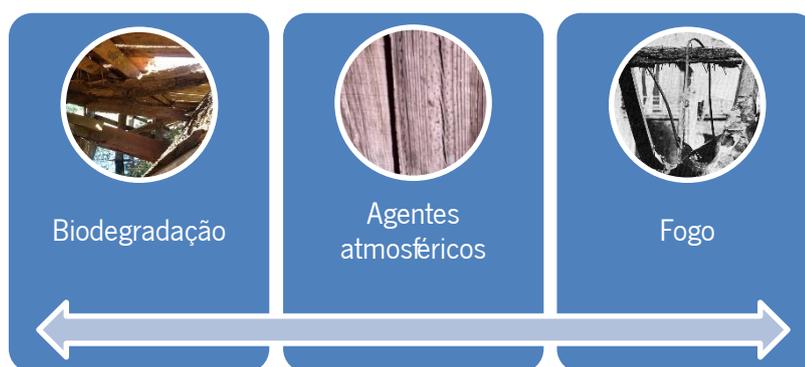


Figura 47 – Agentes de deterioração (in Silva, M., Dias, A., & Lousada, J., 2013)

A biodegradação advém da suscetibilidade que a madeira apresenta relativamente ao ataque de organismos vivos, sendo para eles um nutriente essencial para se desenvolverem. O consumo de madeira por parte destes agentes biológicos, constituídos essencialmente pelos fungos, insetos (térmitas e caruncho) e xilófagos marinhos, no caso de obras marítimas, resulta numa rede de galerias que causa a redução da secção do elemento bem como das suas capacidades físicas e mecânicas. O aparecimento e o crescimento destes organismos encontram-se diretamente relacionados com fatores como a temperatura, a humidade e a falta de ventilação.

A degradação por agentes atmosféricos, sendo a água da chuva e a radiação solar os principais causadores, revela-se muito lenta, podendo destruir durante um século cerca de 6 mm de profundidade (consoante o clima, a espécie de madeira e a orientação solar). A água da chuva provoca um efeito negativo na madeira, pois quando esta atinge uma superfície não tratada é absorvida instantaneamente pela capilaridade, provocando rápidas variações de humidade na superfície exposta e, por consequência, tensões que podem gerar empenos e fissuras. Quanto à radiação solar, a exposição da madeira à radiação ultravioleta degrada os seus componentes, começando pela lenhina, o que provoca descoloração e o aparecimento consequente da tonalidade acinzentada. Por sua vez, os raios infra vermelhos atuam de uma forma indireta através de ciclos consecutivos de humidade e temperaturas que provocam a fissuração da superfície da madeira.

A ação do fogo é atualmente projetada e calculada de modo a existir segurança em caso de incêndio, prevendo-se a resistência da estrutura durante determinado tempo e principalmente a proteção de vidas humanas, bens e instalações (estes dois últimos, se possível). Este tipo de deterioração ocorre pelo ardimento veloz da superfície da madeira, transformando-a numa camada carbonizada. No entanto, a madeira maciça interna não é afetada, pois a camada queimada protege e retarda o alastramento da carbonização para o interior, uma vez que a camada carbonizada é cerca de seis vezes mais isolante do que a madeira. A degradação encontra-se diretamente correlacionada com o tempo de exposição, mas sendo a velocidade de combustão da madeira baixa, esta demonstra resistência e estabilidade ao fogo. Existem inúmeros exemplos documentados de estruturas de madeira que resistiram a situações de incêndio avassaladoras, em que algumas delas foram restauradas e reutilizadas.

❖ Formação da Árvore

A formação da árvore não ocorre de forma perfeita, surgindo efeitos secundários que podem prejudicar a madeira enquanto material de construção (figura 48), tais como:

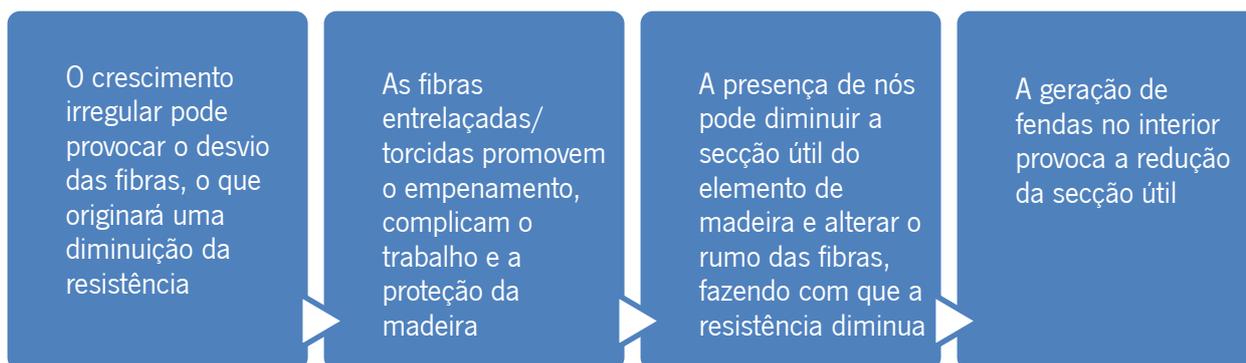


Figura 48 – Processo de formação da árvore com efeito peyorativo sob a própria madeira (in Silva, M., Dias, A., & Lousada, J., 2013)

❖ Causas Estruturais

Para além dos agentes deteriorantes referidos anteriormente, podem surgir patologias de origem estrutural, como o aparecimento de deformações nas estruturas. Estas, aparecem normalmente nos primeiros anos, depois de se ter colocado a estrutura em carga, podendo, na ótica de Martins (2010), ter as seguintes causas:

- Dimensionamento incorreto de secções
- Pormenorização e dimensionamento incorreto das ligações
- Falta de travamento da estrutura
- Defeitos naturais locais na madeira

O erro no dimensionamento das secções dos elementos provoca normalmente uma enorme deformação, através de flechas consideráveis que servem de alarme para uma possível rotura. Desta forma, a madeira

encontra-se sujeita a sucessivas deformações e as secções submetidas a maiores tensões. A resistência da madeira depende do tempo da aplicação de determinada carga, não havendo grande problema quando se trata de uma estrutura de curto prazo. No entanto, no caso de uma estrutura de longo prazo, esta pode-se manter em atividade diversos anos até atingir o limite e ocorrer a rotura. Outro problema comum nas estruturas de madeira refere-se às ligações, devido ao incorreto dimensionamento e ao tipo de ligação estabelecida.

Os problemas ao nível do travamento de estruturas, tipo viga-pilar de madeira, começam pelo apoio da estrutura nas paredes que servem como diagramas do seu travamento, dando-se importantes deformações laterais que tornam a estrutura instável.

A existência de defeitos naturais da madeira com dimensões elevadas na secção transversal do elemento, podendo exibir apenas um nó ou um grupo de nós na parte central, reduz consideravelmente a resistência do elemento.

❖ Cuidados com a utilização da madeira

O baixo desempenho e durabilidade de algumas estruturas de madeira geralmente tem como causa a utilização inadequada do material e não uma consequência direta das suas propriedades. Apesar de se falar correntemente em construções de madeira, de betão ou de aço, na realidade não é usual as construções com um único material, existindo, por isso, interações mecânicas, físicas ou químicas que podem afetar a durabilidade da edificação. No caso das estruturas de madeira, a interação com materiais que possuam humidade é particularmente crítica, devido à grande afinidade da madeira com a água. É, por isso, necessário compreender as causas das patologias nas estruturas de madeira para que estas se possam evitar ou, no caso de ocorrerem, possam ser corretamente diagnosticadas, avaliadas e efetuadas as necessárias intervenções (Barreal, 1998).

Todas as patologias podem ser evitadas ou minimizadas através de pequenos cuidados a ter na utilização e manuseamento da madeira para a execução de estruturas. A colocação da madeira quando esta ainda se encontra “verde” constitui uma das piores práticas que tem como resultado o aparecimento de fendas, o agravamento do fenómeno de fluência, a suscetibilidade ao ataque de insetos dado o elevado teor de humidade, entre outros. Posteriormente, com a acumulação de água, o número de condensações aumenta, afetando as extremidades das vigas. Tal, resulta no apodrecimento da madeira, devendo-se neste caso afastar a extremidade da viga de madeira para que esta possa ventilar (figura 49).



Figura 49 - Demonstração da ventilação de uma viga (in www.planirest.pt)

❖ Manutenção das estruturas de madeira

A manutenção passa pela prevenção, ou seja, pela deteção atempada e eliminação apressada de problemas, revelando-se crucial para a durabilidade e desempenho de uma estrutura de madeira. Neste sentido, estas estruturas devem receber tratamento de preservação, quer contra o ataque biológico como para o atmosférico, assim como a realização de inspeções periódicas para avaliar o estado de conservação da madeira, tendo ela função estrutural ou não estrutural. Havendo indícios de má conservação deverão ser tomadas ações de preservação imediatas, de modo a evitar o agravamento da situação.

Um dos exemplos reais frequentes de falta de manutenção são as infiltrações pelas coberturas, que podem ter como causas a quebra ou o levantamento de telhas, as impermeabilizações mal executadas e a fraca ventilação dos apoios das asnas e/ou viga. Logo, como medidas preventivas de manutenção (figura 50) deve-se:

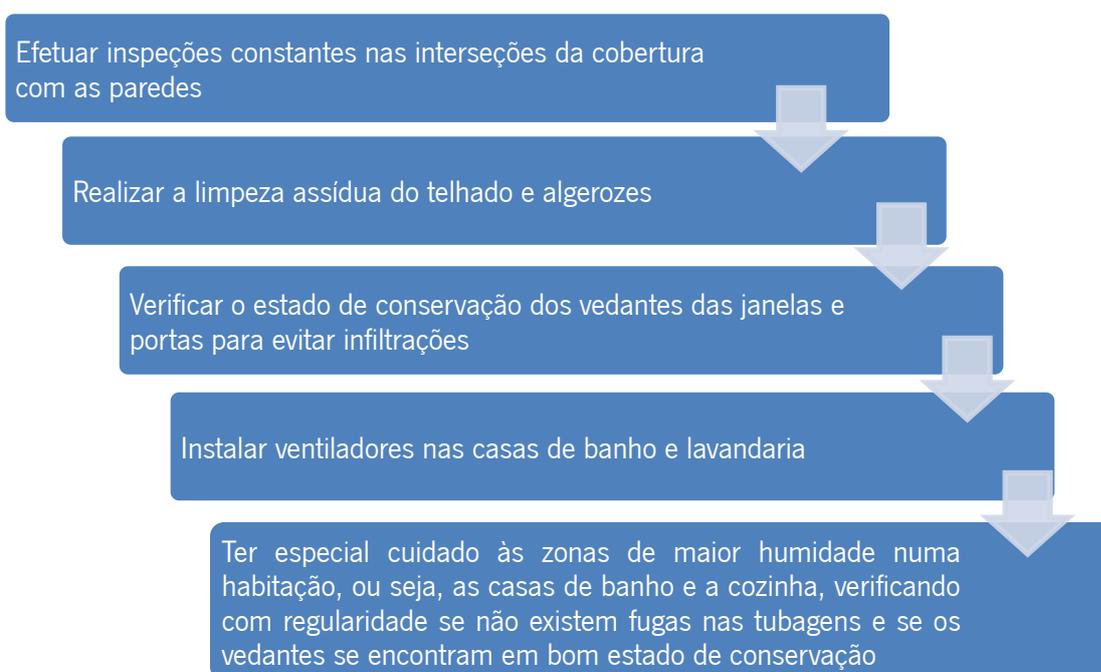


Figura 50 – Medidas preventivas de manutenção para o caso das infiltrações pelas coberturas (in Lourenço, P., Branco, J., & Sousa, H., 2014)

❖ Preservação da Madeira

A madeira quando tratada com um produto eficaz e adequado atinge uma durabilidade excepcional. O tratamento, efetuado pela aplicação de produtos preservadores na forma de autoclave, pincelagem, imersão ou aspersão, pode ser realizado quando a madeira se encontra no estado verde ou seco, sendo este último o mais importante e benéfico. A durabilidade dos produtos preservadores da madeira encontra-se determinada na EN 599-1:1991, referindo-se a 1.^a parte à especificação dos produtos e a 2.^a parte à classificação e rotulagem dos mesmos.

Os elementos estruturais de madeira devem, assim, ser alvo de tratamento de proteção, de acordo com a classe de risco a que estejam expostos (tabela 5). As classes de risco são cinco e encontram-se definidas na EN 335-2:2006.

Tabela 5 - Tipos de Classes de Risco

Classes de Risco	Situações gerais de serviço	Teor de água na madeira (%)	Risco de Ataque por Agentes Xilófagos			
			Fungos	Carunchos	Térmitas Subterrâneas	Xilófagos Marinho
1	Sem contato com o solo, sob cobertura (seco). Ex.: Pavimentos, aros de vãos, divisórias	≤20	Nulo	Médio	Nulo	Nulo
2	Sem contato com o solo, sob cobertura (humidade). Ex.: Estrutura de cobertura	Ocasionalmente > 20	Médio	Médio	Baixo	Nulo
3	Sem contato com o solo, sem cobertura. Ex.: Caixilharia	Frequentemente > 20	Elevado	Baixo	Médio	Nulo
4	Com contato com o solo. Ex.: Estacas, postes	Permanentemente > 20	Elevado	Baixo	Elevado	Nulo
5	Em água salgada. Ex.: Obras marítimas	Permanentemente > 20	Médio	Baixo	Baixo	Elevado

A definição dos requisitos para garantir a durabilidade de um dado elemento de madeira para a construção é alvo de uma série de normas, no sentido de escolher a espécie de madeira adequada e também a eventual necessidade de utilização de processos de tratamento, baseada na definição de classes de risco de utilização.

Além da resistência natural, o teor de humidade da madeira é um dos principais e mais influentes agentes condicionantes ao ataque de organismos biodeteriorantes e à ocorrência de lesões como fendilamentos/rachaduras e abaulamentos, que, aliados a fatores humanos como o projeto, o material utilizado, a execução de manutenção, ou a falta desta, comprometem o desempenho e a duração da estrutura.

Assim, a partir das manifestações patológicas estudam-se as suas causas e origens. Estas, por sua vez, qualificam a patologia, a qual, diagnosticada, recebe o tratamento devido que garanta, previna ou recupere o desempenho satisfatório da estrutura prolongando a sua vida útil.

4. ESTUDO DE CASO

Em Portugal, a construção tradicional contempla coberturas e pavimentos de madeira e, em certos casos, paredes de alvenaria reforçadas com madeira. Um número significativo destes edifícios continua em uso, mesmo tendo sofrido significativas alterações. Os edifícios da cidade do Porto apresentam-se como um caso concreto e de proximidade geográfica, onde os materiais predominantes são a alvenaria de pedra de granito e estruturas de madeira, sendo a madeira o material que se encontra em pior estado de degradação (Teixeira, 2004).

O centro histórico da cidade do Porto tem vindo a perder população a um ritmo elevado, em resultado de profundas alterações económicas, sociais e culturais. A inadaptabilidade dos modelos antigos de habitação aos novos modelos de vida, bem como às exigências contemporâneas de conforto e à sua importância no desenvolvimento do projeto da habitação, levaram ao abandono e à consequente degradação de grande parte do edificado portuense, situação que constitui uma preocupação social e global da cidade (Milhazes, 2010).

A deterioração e a desertificação dos centros urbanos são realidades que têm sido debatidas pela opinião pública, pelos representantes políticos e nos meios académicos, constituindo um dos mais evidentes problemas do contexto citadino contemporâneo. Na Baixa Portuense, espaço geográfico de referência do presente projeto, tais problemas devem-se a um conjunto de fatores que importa identificar: perda de 50% da população no espaço de quarenta anos; perda de cinquenta mil habitantes no espaço de vinte anos; taxa de desemprego superior a 10%, elevada percentagem de habitantes reformados e saída de população jovem da Baixa (envelhecimento da população); atratividade exercida pelas periferias; descentralização residencial dos ativos do sector terciário, envolvendo diferentes estratos sociais; arrendatários com rendas muito elevadas; falta de estacionamento nos prédios; engarrafamentos constantes; altos níveis de poluição atmosférica; rede de saneamento desajustada; escassa ou quase inexistente rede de gás natural; insuficiência de equipamentos sociais; limpeza de ruas insatisfatória; ruído excessivo; proliferação de vandalismo, indigentes, arrumadores, tráfico e consumo de droga, assaltos, ou seja, aumento da criminalidade (Loza, 2005).

Assim, a cidade do Porto detém um vasto leque de edifícios com necessidades de reabilitação. Por forma a potencializar este tipo de ações de intervenção, existem, atualmente, medidas de apoio à reabilitação dos edifícios, as quais visam melhorar e valorizar os centros da cidade, que se têm verificado uma mais-valia para a Baixa Portuense, dado ser considerada um dos mais importantes pontos turísticos de Portugal.

O edifício elegido trata-se de uma construção genuína do século XIX e encontra-se em processos de reabilitação, requisito fundamental para o presente estudo de caso. Implantado sobre terrenos pertencentes ao antigo

Convento de S. Domingos, faz parte do “Quarteirão Ferreira Borges” (figura 51), designado pela SRU, por Parcela 6.

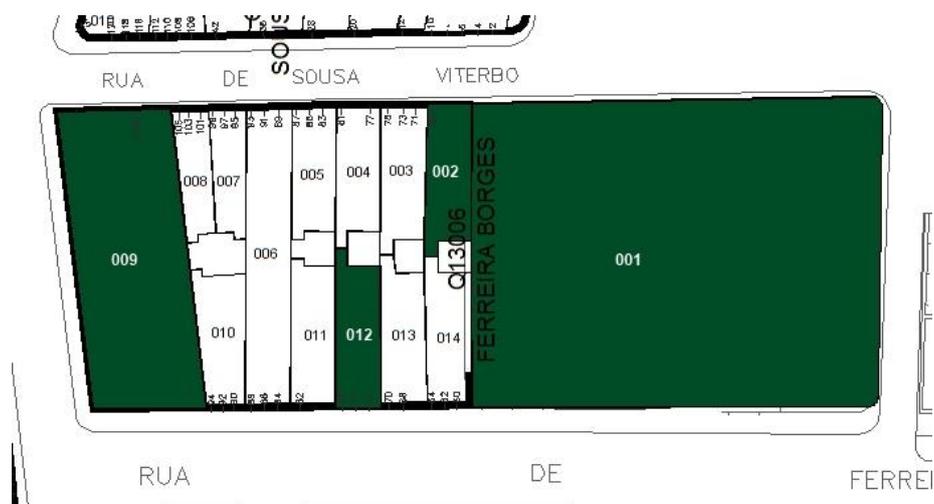


Figura 51 - “Quarteirão Ferreira Borges” (in <http://www.portovivosru.pt/>)

Bem posicionado e com uma belíssima vista sob o rio Douro, situa-se na Rua Dr. Sousa Viterbo, retratando a construção típica da cidade Portuense. O edifício, constituído pelo rés-do-chão e seis pisos, encontra-se dividido em dois blocos com características idênticas entre si, possuindo uma fachada voltada para a Rua Ferreira Borges e a outra para a Rua Sousa Viterbo (figura 52).

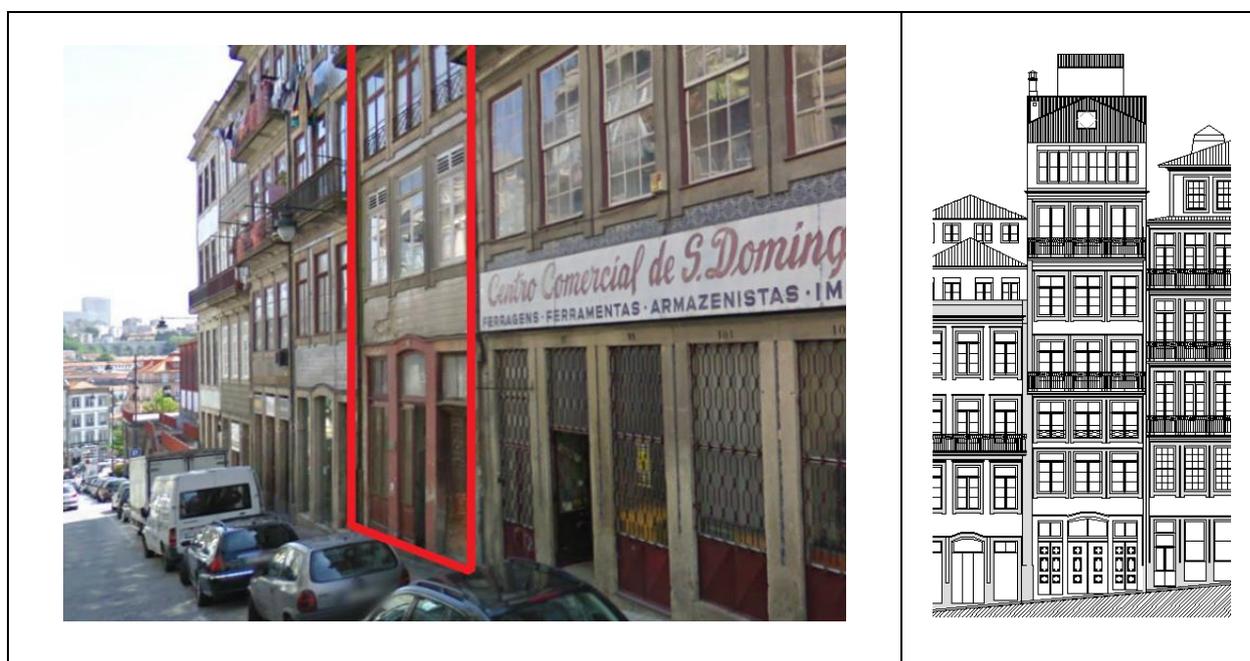


Figura 52 - Fachada do Edifício em estudo voltada para a Rua Sousa Viterbo (in [maps.com](https://www.google.com/maps.com); Adaptado das peças desenhadas do Edifício do Caso de Estudo)

Podendo-se realizar uma análise mais detalhada através da consulta das plantas do edifício em questão expostas nos anexos I, II e III, o lote (figura 53), totalmente preenchido, apresenta aproximadamente de dimensões 7m de largura e 44m de profundidade, características do período anteriormente mencionado.



Figura 53 - Vista aérea do Edifício em estudo (in maps.com)

Utilizado como vertente comercial e habitacional, verifica-se bastante deteriorado pelo efeito das infiltrações da água da chuva e da ausência de manutenção (figura 54), pretendendo a reabilitação devolver ao edifício a sua função habitacional.



Figura 54 - Fotografias demonstrativas da degradação interior do edifício (Autoria própria)

Típico da época, construtivamente o edifício caracteriza-se pela estrutura periférica em alvenaria de pedra de granito e interiormente pela estrutura em madeira que comporta. A divisão do lote, efetuada em tabique, em dois blocos independentes, é por uma escada, também ela em madeira (figura 55).



Figura 55 - Fotografia demonstrativa da estrutura de pavimento em madeira e as paredes divisórias em tabique (Autoria própria)

A cobertura, realizada em estrutura de madeira de duas águas, contém uma claraboia de quatro águas no topo da caixa de escadas, exibindo elevados níveis de deterioração (figura 56). As vigas mestras, que fazem a ligação entre as paredes Norte e Sul, tinham aspeto de ser em madeira de castanho como era usual na altura.



Figura 56 - Fotografia demonstrativa da estrutura de cobertura e do estado da claraboia existente (Autoria própria)

Devido aos estragos na claraboia e telhas partidas (figura 57), utilizou-se um toldo de modo a minimizar a entrada de água para o interior.



Figura 57 - Fotografia demonstrativa das patologias causadas pela degradação da claraboia e o estado atual da cobertura (Autoria própria)

O estado de conservação do edifício é de momento inconcebível para a habitação. Além dos problemas referenciados anteriormente na cobertura, também possuía deficiências nas próprias paredes e tetos que demonstravam graves problemas de humidade e a presença de atividade biológica (figura 58).



Figura 58 - Fotografia demonstrativa das enormes e evidentes marcas de infiltrações de água (Autoria própria)

Com as significativas infiltrações e a presença de ataque de insetos xilófagos, a própria estrutura de madeira colocou em risco a segurança do edifício. O acesso de animais, nomeadamente pombos, era permitido através da Claraboia, potencializando o desenvolvimento do estado de degradação do imóvel (figura 59).



Figura 59 - Fotografias demonstrativas do estado atual de um compartimento da habitação e outra vista da claraboia (Autoria própria)

O edifício escolhido tem o valor de nele terem sido dados todos os passos tecnicamente necessários, desde o diagnóstico sobre o estado de conservação dos edifícios, envolvendo como tarefa preliminar a execução de levantamentos e reconhecimentos geométricos e construtivos, à apresentação e análise das soluções de intervenção, visando a reparação ou o reforço dos seus elementos construtivos, refletindo sobre os novos elementos criados pela “aglutinação” da construção antiga com os novos materiais.

4.1. Comparação relativamente aos Sistemas Convencionais, ambos como Solução Construtiva de Reabilitação

Pensar no melhor sistema construtivo a utilizar numa reabilitação exige ponderar preços e o tempo de emprego. E, nestes campos, o betão armado e a alvenaria cerâmica vencem. No entanto, fatores como a diminuição de resíduos e o isolamento térmico e acústico são vantagens encontradas na pré-fabricação através de painéis e/ou módulos e que têm sido cada vez mais influentes na escolha de materiais e revestimentos a utilizar.

As próprias empresas de materiais de construção, desde a imposição obrigatória da Certificação Energética, têm procurado conceber materiais que satisfaçam tais necessidades energéticas requisitadas pela sociedade atual, desenvolvendo-se materiais com melhor eficiência térmica e simultaneamente acústica. Um maior isolamento térmico permite a diminuição de consumos energéticos, tanto no aquecimento como no arrefecimento, possibilitando a redução de emissões de CO₂ para a atmosfera.

Neste sentido, considerou-se pertinente comparar os sistemas pré-fabricados aos convencionais, correlacionando diversas variáveis e aspetos, de modo a se perceber concretamente, qual a melhor solução construtiva no âmbito da reabilitação. Os dados utilizados para o estudo foram obtidos sobretudo pelo contacto com empresas de construção e pela consulta de fichas técnicas e base de dados de orçamentos. Os valores de custo apresentados poderão num futuro próximo sofrer variações, bem como os rendimentos de trabalho, pois encontram-se em constante mudança conforme a conjuntura de cada país e a concorrência face a outras empresas e/ou materiais. Estes valores não incluem equipamentos, custos indiretos e lucros.

4.1.1. Laje de Pavimento

Na realização do estudo comparativo das soluções para a laje de pavimento foram considerados elementos que garantem a estabilidade estrutural e funcional, bem como a contemplação de acabamentos, de maneira a se obterem resultados mais coesos. Como solução tradicional tem-se a laje aligeirada de vigota e abobadilha (figura 60) e, em paralelo, como solução de pré-fabricado de madeira analisa-se o sistema “O’Portune” (Alternativa 1), o sistema “Wenus” (Alternativa 2) e o sistema “CLT” (Alternativa 3).

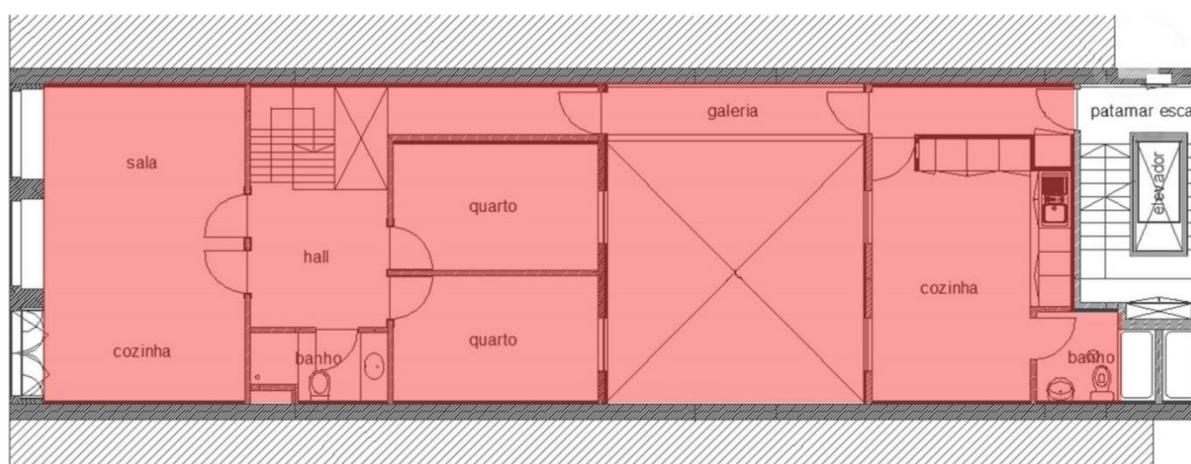


Figura 60 - Peça desenhada da habitação do edifício em estudo, com demarcação da área de intervenção (Adaptado das peças desenhadas do Edifício do Caso de Estudo)

✓ **Solução com Laje Aligeirada de Vigotas Pré-Esforçadas e Abobadilha**

A laje de pavimento aligeirada usada para estudo de solução possui a seguinte descrição, patente na página da internet “Gerador de Preços”, do Programa Cype Ingenieros S.A.: Laje aligeirada:

- Altura 20=16+4 cm, betão C25/30 (XC1 (P); D12; S3; CI 0,4), fabricado em central, betonagem com grua, volume total de betão 0.109 m³/m², aço A400 NR com uma quantidade de 2kg/m²;
- Vigota pré-esforçada de secção em “T” invertido dupla, abobadilha de betão 40x16x20 cm, malha electrossoldada AR42 de aço A500 EL em camada de compressão;
- Execução de viga alta em betão armado: com betão C25/30 (XC1(P); D12; S3; CI 0,4) fabricado em central, e betonagem com grua, e aço A400 NR, quantidade 150 kg/m³;
- Montagem e desmontagem do sistema de cofragem de madeira. Necessário a realização de uma viga de betão armado para ligação da laje aligeirada com parede de alvenaria de pedra.
- Rendimento de trabalhos rondam os 100m²/dia.

Tabela 6 – Materiais da Laje Aligeirada

		Quantidade	Unidade	Massa Unidade (kg)	Massa (kg/m ²)	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)
Material	Sistema de Cofragem e escoramento	1,000	m ²	-	-	3,80	4,18
	Abobadilha de betão, 40x16x20cm	6,563	un	7	45,94	0,37	2,43
	Vigota pré-esforçada de secção em “T” invertido	3,620	m	17	61,54	1,66	6,01
	Aço em varões nervurados A400 NR Ø 16mm	2,000	kg	-	2	0,82	1,64
	Malha electrossoldada AR42 100x300mm	1,100	m ²	1,43	1,45	1,80	1,98
	Betão C25/30	0,109	m ³	2.408,16	262,49	103,85	11,32
	Total	-	-	373,42 kg/m²		27,56 €/m²	

Tabela 7 – Materiais da Viga (Ligação Parede Alvenaria – Laje Aligeirada)

Material		Quantidade	Unidade	Massa Unidade (kg)	Massa (kg/m ²)	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)
	Sistema de cofragem recuperável para a execução de vigas de betão	5,200	m ²	-	-	22,40	116,48
Separador homologado para vigas	4,000	un	-	-	0,08	0,32	
Aço em varões nervurados, A400 NR Ø 16mm	150,000	kg	-	150	0,82	123	
Betão C25/30	1,050	m ³	2.408,16	2528,57	103,85	109,04	
Total	-	-	2678,57 kg/m²		348,84 €/m²		

Tabela 8 – Mão de Obra da Laje Aligeirada

Mão de Obra	Recurso	Quantidade	Unidade	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)
	Oficial de 1.ª estruturista	0,671	h	17,69	11,87
Ajudante de estruturista	0,671	h	17,27	11,59	
Total	-	-	23,46 €/m²		

Tabela 9 – Mão de Obra da Viga (Ligação Parede Alvenaria – Laje Aligeirada)

Mão de Obra	Recurso	Quantidade	Unidade	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)
	Oficial de 1.ª estruturista	1,393	h	17,69	24,64
Ajudante de estruturista	1,393	h	17,27	24,06	
Total	-	-	48,70 €/m²		

Tabela 10 – Materiais de Acabamento da Laje Aligeirada

Material		Quantidade	Unidade	Massa Unidade (kg)	Massa (kg/m ²)	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)
	Betão Leve de Argila Expandida	0,030	m ³	358	10,74	92,80	2,78
	Placa de XPS da “Dow FLOORMATE 200-A” de 3cm	1,00	m ²	0,90	0,90	3,65	3,65
	Pasta de gesso de construção para projetar com misturadora bombeadora	0,024	m ³	830	19,92	94,66	2,27
	Pasta de gesso para aplicação em camada fina	0,006	m ³	630	3,78	88,58	0,53
	Pavimento Laminado Flutuante - Acustic	4,423	m ²	1,75	7,74	2,369	10,48
Total	-	-	43,08 kg/m²		19,71 €/m²		

Tabela 11 – Mão de Obra para Acabamento da Laje Aligeirada

Mão de Obra	Recurso	Quantidade	Unidade	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)
	Estucador	0,500	h	16,08	8,04
	Ajudante de estucador	0,306	h	15,62	4,78
Total	-	-	12,82 €/m²		

Tabela 12 - Custos para a Laje Aligeirada

Laje Aligeirada com Acabamento	
Material	Mão de Obra
47,27 €/m ²	36,28 €/m ²

Total: 83,55 €/m ²	
Total – Laje Aligeirada (117,70 m ²)	9.833,84 €
Viga (Ligação Parede Alvenaria – Laje Aligeirada)	
Material	Mão de Obra
348,84 €/m ³	48,70 €/m ³
Total: 397,54 €/m ³	
Total – Viga (Ligação Parede Alvenaria – Laje Aligeirada) (8.08 m ³)	3.212,12 €
Total Laje Aligeirada	13.045,96 €



Figura 61 - Execução de uma viga de betão armado em parede de alvenaria de pedra e Laje aligeirada ligada à viga de betão armado (Santos, D., 2013. Dissertação de Mestrado)

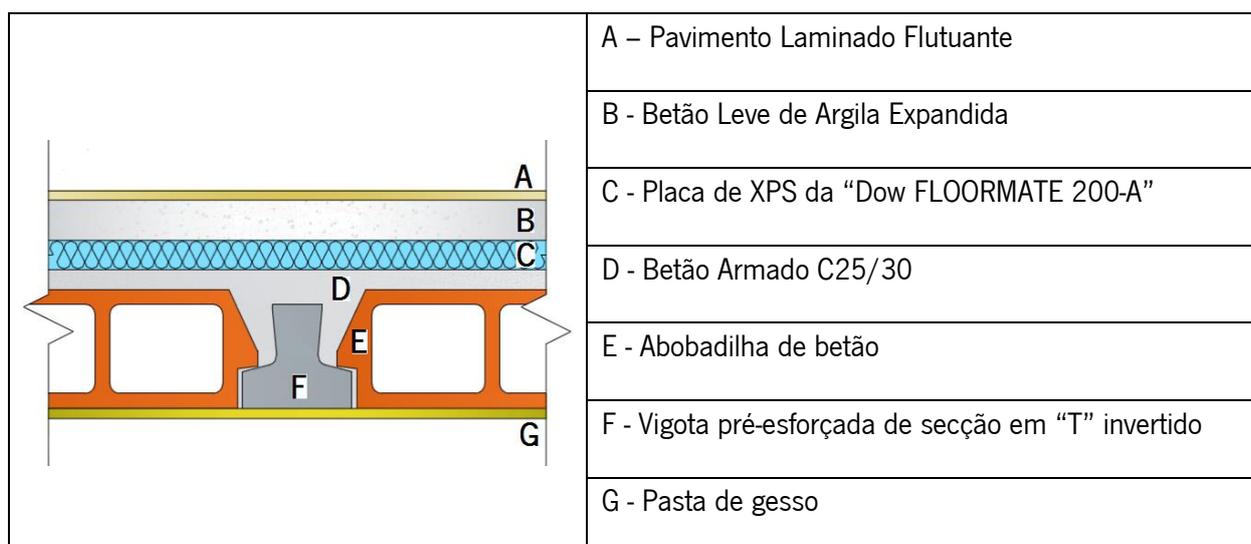


Figura 62 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem uma laje aligeirada (in www.itecons.uc.pt)

Tabela 13 – Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico

Material	Espessura (m)	Transmissão Térmica (W/m.°C)	Resistência Térmica (m².K/W)	Resistência Sonora (dB)
Resistência Térmica Superficial – Ascendente - Interior			0,100	-
A	0,007	0,033	0,212	7
B	0,03	0,156	0,005	27
C	0,03	0,035	0,001	11
D	0,20	1,300	0,260	-
E	0,16	1,300	0,208	-
F	0,09	1,300	0,117	-
G	0,03	0,480	0,014	2
Resistência Térmica Superficial – Ascendente - Exterior			0,040	-
Resultados				
Isolamento Térmico (W/m².°C)			1,04	
Isolamento Acústico (dB)			47	

Para a colocação da laje aligeirada é necessário executar uma viga em betão armado cuja função é a de ligação da laje aligeirada à parede de alvenaria de pedra. Depois, assenta-se a viga na parede de alvenaria, sendo a parede responsável pelo suporte da carga transmitida pela laje aligeirada e a viga de betão armado. O que torna este tipo de sistema exequível é o facto de as vigas suportarem a estrutura da laje aligeirada.

Esta solução apresenta um tipo de acabamento bastante utilizado. O pavimento é composto por uma camada de betão leve de argila expandida e colocada sobre a placa de XPS, exibindo como revestimento final o pavimento laminado flutuante, enquanto o teto é revestido com reboco à base de pasta de gesso.

✓ **Alternativa 1 - Solução com Sistema Pré-Fabricado de Madeira "O'Portune"** (figura 63)

Por forma a obter os custos e os rendimentos dos recursos, realizou-se uma pesquisa na empresa CBS-CBT, sediada em França, onde o valor para a execução do piso com colocação e montagem, por equipas da empresa,

se situa entre os 80 €/m² a 120 €/m². Ao nível do rendimento de trabalhos, a empresa garante um transporte fácil e rápida montagem com produtividades que rondam os 500 m²/dia e qualidade perfeitamente controlada.



Figura 63 - Peça do sistema “O’Portune” e aspeto final do teto produzido pelo sistema (in CBS-CBT)

Tabela 14 – Material, Mão-de-obra e Rendimento para a Laje Sistema Pré-Fabricado “O’Portune”	
Material e Mão de Obra Equipa “CBS-CBT”	100 €/m ²
Total	100 €/m ²
Peso Próprio – 100 kg/m ²	
Total Laje Pavimento 117.70 m ²	11.770,00 €

Tabela 15 – Materiais para o Acabamento da Laje “O’Portune”							
Material		Quantidade	Unidade	Massa Unidade (kg)	Massa (kg/m ²)	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)
		Placa de OSB	1,000	m ²	10,80	10,80	13,76
	Painel de Lã Mineral	1,000	m ²	4,10	4,10	4,32	4,32
Total		-	-	14,90 kg/m²		18,08 €/m²	

Tabela 16 – Mão de Obra para Acabamento da Laje “O’Portune”

Mão de Obra	Recurso	Quantidade	Unidade	Custo Unidade (€)	Custo (€/m²)
	Carpinteiro	0,500	h	16,08	8,04
	Ajudante de Carpinteiro	0,306	h	15,62	4,78
	Total	-	-	12,82 €/m²	

Tabela 17 – Custo do Acabamento da Laje “O’Portune”

Material	Mão de Obra
18,08 €/m²	12,82 €/m²
Total: 30,90 €/m²	
Total – Acabamento Laje “O’Portune” (117,70 m²)	3.636,93 €

Tabela 18 – Custo da Laje Sistema Pré-Fabricado “O’Portune” com Acabamento

Material e Mão de Obra Equipa “CBS-CBT” Sistema “O’Portune”	11.770,00 €
Material e Mão de Obra para Acabamento da Laje “O’Portune”	3.636,93 €
Total Laje Pavimento 117.70 m²	15.406,93 €

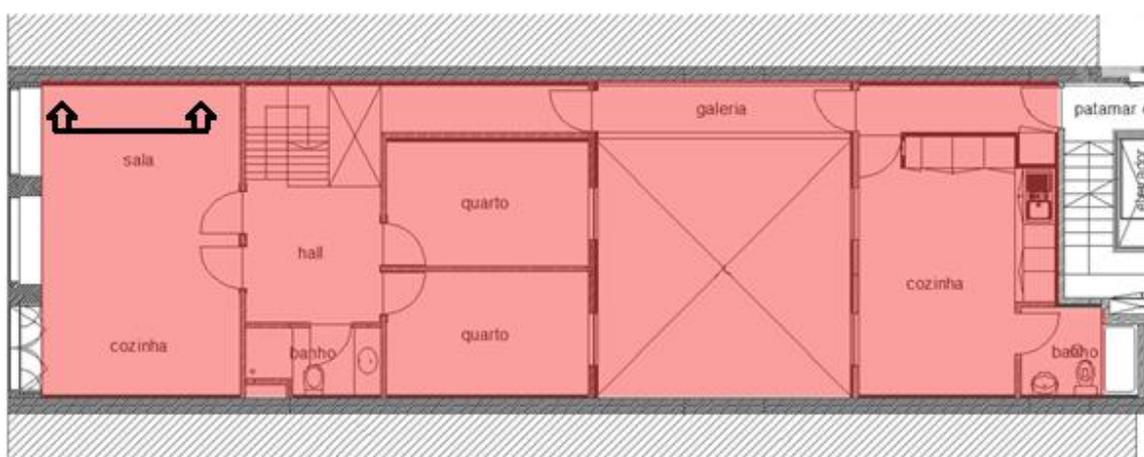


Figura 64 - Marcação da zona de corte da laje na planta (Adaptado das peças desenhadas do Edifício do Caso de Estudo)

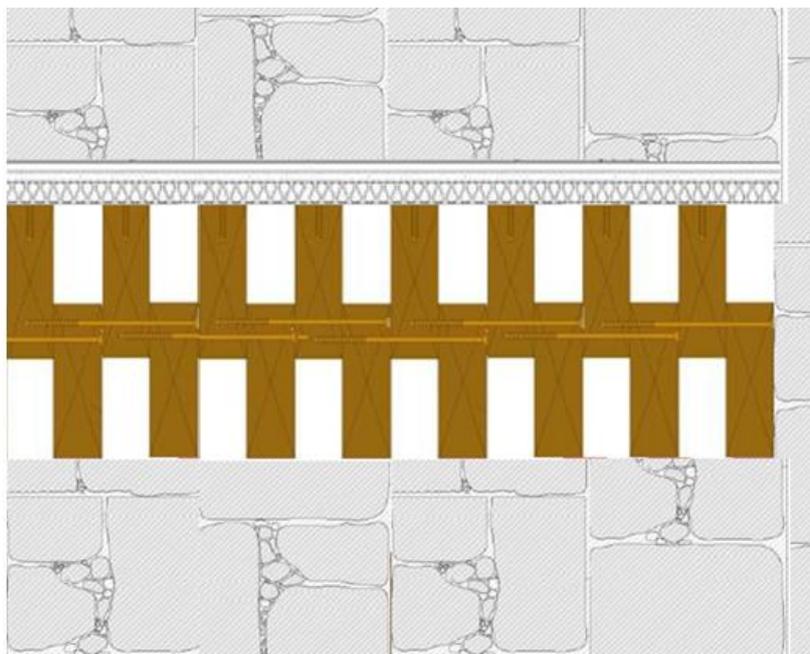


Figura 65 - Corte pormenorizado da solução pré-fabricada do sistema "O'Portune" (Autoria própria)

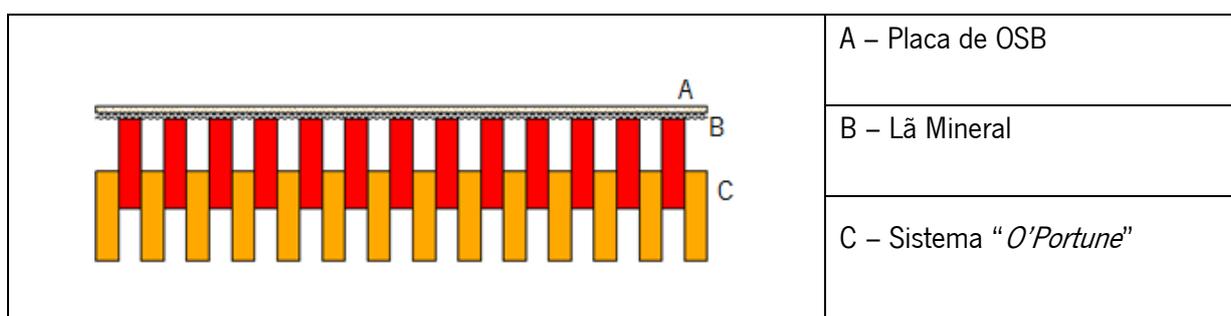


Figura 66 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem o sistema "O'Portune" (in CBS-CBT)

Tabela 19 - Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico

Material	Espessura (m)	Transmissão Térmica (W/m.°C)	Resistência Térmica (m².K/W)	Resistência Sonora (dB)
Resistência Térmica Superficial – Ascendente - Interior			0,100	-
A	0,02	0,012	1,667	8
B	0,02	0,044	0,454	36
C	0,38	0,12	3,167	12
Resistência Térmica Superficial – Ascendente - Exterior			0,040	-
Resultados				
Isolamento Térmico (W/m².°C)			0,329	
Isolamento Acústico (dB)			56	

O sistema “*O’Portune*” encontra-se dimensionado para o suporte de cargas de uma habitação e pelo baixo peso que apresenta facilita a colocação dos seus elementos no interior do edifício. Esta estrutura apoia-se na parede de alvenaria, sendo necessário a aplicação de elementos metálicos de ligação. Dado o aspeto estético excecional que exhibe, não requer qualquer tipo de revestimento no teto, ao invés do pavimento que necessita de um acabamento que garanta isolamento térmico e acústico, utilizando-se normalmente lã mineral e placas de OSB.

✓ **Alternativa 2 - Solução com Sistema Pré-Fabricado de Madeira “*Wenus*”** (figura 67)

Por forma a obter os custos e os rendimentos dos recursos, recorreu-se novamente à empresa CBS-CBT, a qual apresentava um valor para a execução do piso com colocação e montagem, por equipas da empresa, entre 45 €/m² a 70 €/m². Quanto a rendimentos de trabalhos, a empresa garante um transporte de fácil e rápida montagem com produtividades que rondam os 400m²/dia e qualidade perfeitamente controlada.



Figura 67 - Peça do sistema “*Wenus*” e aspeto final do teto produzido pelo sistema (in CBS-CBT)

Tabela 20 – Material, Mão de Obra e Rendimento da Laje Sistema Pré-Fabricado “ <i>Wenus</i> ”	
Material e Mão de Obra Equipa “CBS-CBT”	70 €/m ²
Total	70 €/m ²
Peso Próprio – 50 kg/m ²	
Total Laje Sistema Pré-Fabricado “<i>Wenus</i>” 117.70 m²	8.239,00 €

Tabela 21 – Material de Acabamento da Laje “Wenus”

Material		Quantidade	Unidade	Massa Unidade (kg)	Massa (kg/m²)	Custo Unidade (€)	Custo (€/m²)
	Placa de OSB	1,000	m²	10,80	10,80	13,76	13,76
	Painel de Lã Mineral	1,000	m²	4,10	4,10	4,32	4,32
	Placa de OSB	1,000	m²	10,80	10,80	13,76	13,76
Total		-	-	25,07 kg/m²		31,84 €/m²	

Tabela 22 – Mão de Obra para Acabamento da Laje “Wenus”

Mão de Obra	Recurso	Quantidade	Unidade	Custo Unidade (€)	Custo (€/m²)
	Carpinteiro	0,500	h	16,08	8,04
	Ajudante de Carpinteiro	0,306	h	15,62	4,78
Total		-	-	12,82 €/m²	

Tabela 23 – Custo do Acabamento da Laje “Wenus”

Material	Mão de Obra
31,84 €/m²	12,82 €/m²
Total: 44,66 €/m²	
Total – Acabamento Laje “Wenus” (117,70 m³)	5.256,48 €

Tabela 24 – Custo da Laje Sistema Pré-Fabricado “Wenus” com Acabamento

Material e Mão de Obra Equipa “CBS-CBT” Sistema “Wenus”	8.239,00 €
Material e Mão de Obra para Acabamento da Laje “Wenus”	5.256,48 €
Total Laje Pavimento 117.70 m²	13.495,48 €

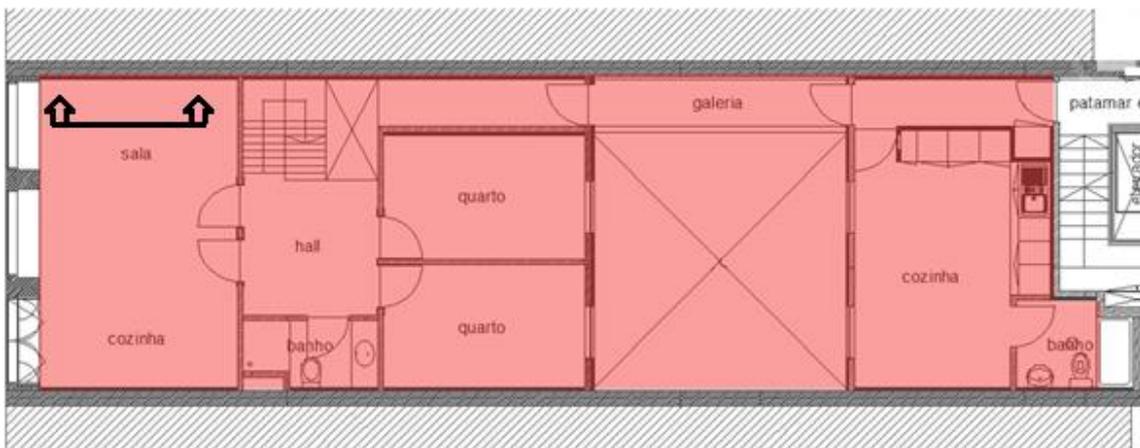


Figura 68 - Marcação da zona de corte da laje na planta (Adaptado das peças desenhadas do Edifício do Caso de Estudo)

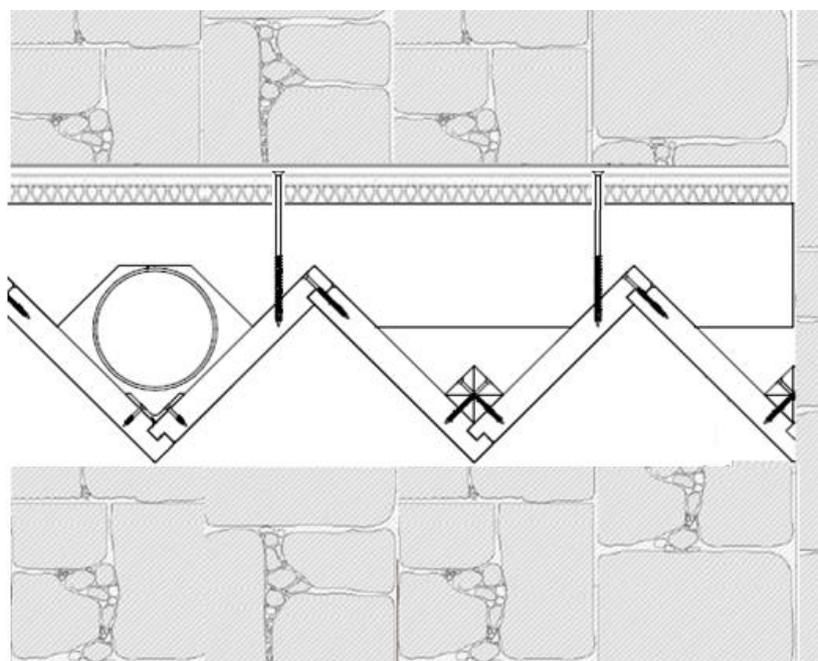


Figura 69 - Corte pormenorizado da solução pré-fabricada do sistema “Wenus” (Autoria própria)

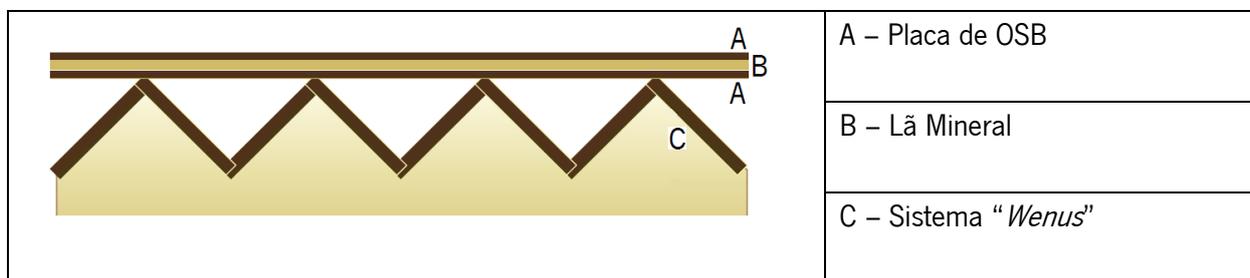


Figura 70 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem o sistema “Wenus” (in CBS-CBT)

Tabela 25 - Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico

Material	Espessura (m)	Transmissão Térmica (W/m ² .°C)	Resistência Térmica (m ² .K/W)	Resistência Sonora (dB)
Resistência Térmica Superficial – Ascendente - Interior			0,100	-
A	0,02	0,012	1,667	8
A	0,02	0,012	1,667	8
B	0,02	0,044	0,454	26
Resistência Térmica Caixa de Ar			0,160	-
C	0,38	0,12	3,167	12
Resistência Térmica Superficial – Ascendente - Exterior			0,040	-
Resultados				
Isolamento Térmico (W/m ² .°C)			0,414	
Isolamento Acústico (dB)			54	

O sistema “*Wenus*”, tal como o “*O’Portune*”, apoia-se na parede de alvenaria, sendo necessária a aplicação de elementos metálicos de ligação. Este sistema também não necessita de qualquer tipo de revestimento no teto, uma vez que apresenta um aspeto estético extraordinário, contrariamente ao pavimento que requer um acabamento que assegure os requisitos de isolamento térmico e acústico, utilizando-se para o efeito lã mineral e placas de OSB. A existência de caixa de ar constitui uma mais valia em termos de isolamento.

✓ **Alternativa 3 - Solução com Sistema Pré-Fabricado de Madeira “CLT”** (figura 71)

Por forma a obter os custos e rendimentos dos recursos fez-se uma pesquisa junto da empresa LXS Group, sediada em Braga, concedendo um valor para a execução do piso com colocação e montagem, por equipas da empresa, 105€/m². Relativamente ao rendimento de trabalhos, a empresa garante um transporte fácil e montagem rápida com produtividades que cingem os 200m²/dia e com qualidade perfeitamente controlada.



Figura 71 - Peça de um sistema “CLT” e aspeto final do teto produzido pelo sistema (in KLH.com; www.archiexpo.com)

Tabela 26 – Material, Mão de Obra e Rendimento da Laje Sistema Pré-Fabricado “CLT”	
Material “LXS Group”	Mão de Obra Equipa “LXS Group”
45 €/m ²	60 €/m ²
Total: 105 €/m ²	
Peso Próprio – 42,30 kg/m ²	
Total Laje Sistema Pré-Fabricado “CLT” 117.70 m²	12.358,50 €

Tabela 27 – Material de Acabamento da Laje “CLT”							
Material		Quantidade	Unidade	Massa Unidade (kg)	Massa (kg/m ²)	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)
	Placa de OSB	1,000	m ²	10,80	10,80	13,76	13,76
	Placa de XPS da “Dow FLOORMATE” de 6 cm	1,000	m ²	0,90	0,90	6,22	6,22
	Membrana de Espuma de Polietileno Reticulado 1cm	1,000	m ²	0,25	0,25	2,72	2,72
Total	-	-	-	11,95 kg/m²	-	22,70 €/m²	-

Tabela 28 – Mão de Obra para Acabamento da Laje “CLT”

Mão de Obra	Recurso	Quantidade	Unidade	Custo Unidade (€)	Custo (€/m²)
	Carpinteiro	0,500	h	16,08	8,04
	Ajudante de Carpinteiro	0,306	h	15,62	4,78
Total		-	-	12,82 €/m²	

Tabela 29 – Custos do Acabamento da Laje “CLT”

Material	Mão de Obra
22,70 €/m²	12,82 €/m²
Total: 35,52 €/m²	
Total – Acabamento Laje “CLT” (117,70 m³)	4.180,70 €

Tabela 30 - Custo da Laje Sistema Pré-Fabricado “CLT” com Acabamento

Material e Mão de Obra Equipa “LXS Group” Sistema “CLT”	12.358,50 €
Material e Mão de Obra para Acabamento da Laje “CLT”	4.180,70 €
Total Laje Pavimento 117.70 m²	16.539,20 €

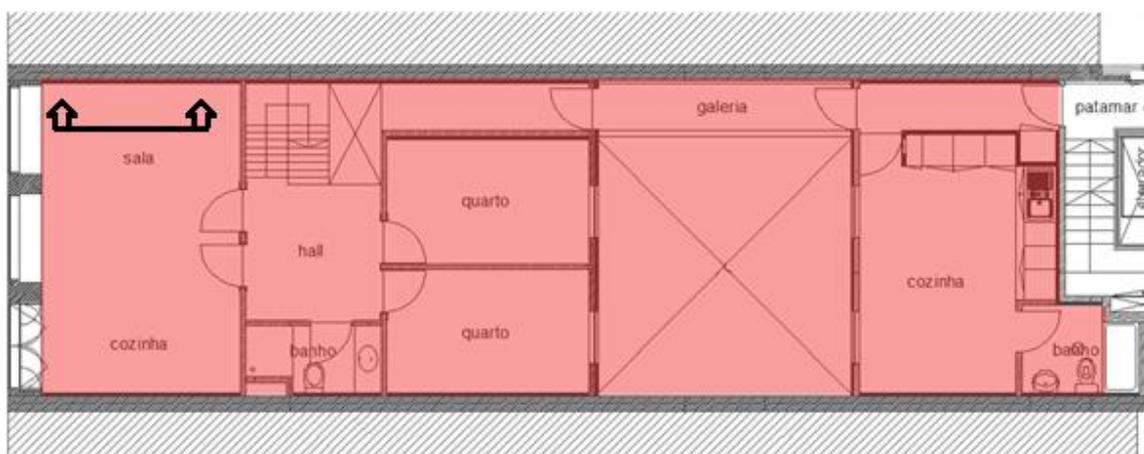


Figura 72 - Marcação da zona de corte da laje na planta (Adaptado das peças desenhadas do Edifício do Caso de Estudo)

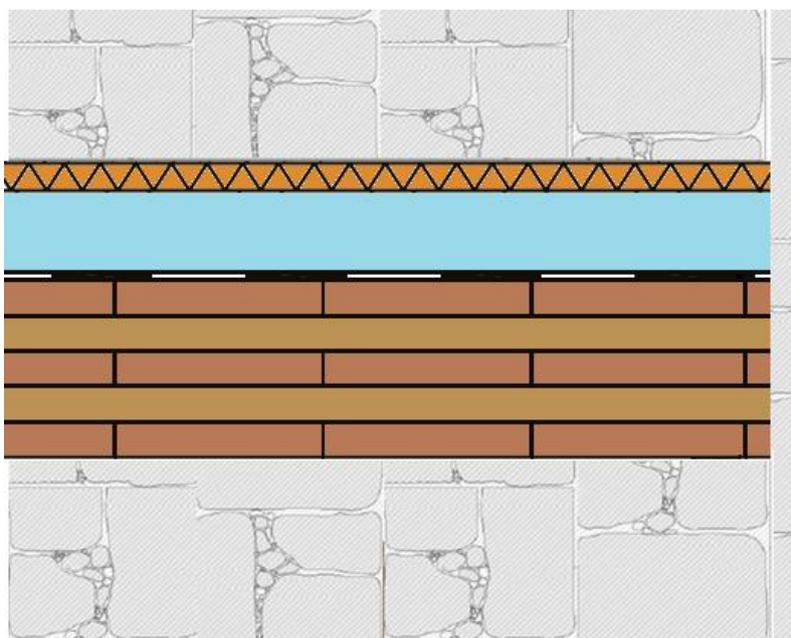


Figura 73 - Corte pormenorizado da solução pré-fabricada do sistema "CLT" (Autoria própria)

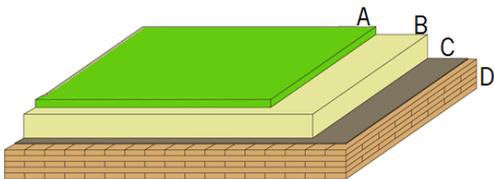
	A – Placa de OSB
	B – Placa de XPS da "Dow FLOORMATE"
	C – Membrana de Espuma de Polietileno Reticulado
	D – Sistema "CLT"

Figura 74 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem o sistema "CLT" (in www.klh.com)

Tabela 31 - Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico

Material	Espessura (m)	Transmissão Térmica (W/m.°C)	Resistência Térmica (m2.K/W)	Resistência Sonora (dB)
Resistência Térmica Superficial – Ascendente - Interior			0,100	-
A	0,020	0,012	1,667	8
B	0,060	0,035	1,714	11
C	0,010	0,040	0,250	8
D	0,090	0,120	0,750	25
Resistência Térmica Superficial – Ascendente - Exterior			0,040	-
Resultados				
Isolamento Térmico (W/m².°C)			0,368	
Isolamento Acústico (dB)			52	

O sistema “CLT”, tal como os restantes sistemas pré fabricados, apoia-se na parede de alvenaria, com o recurso à aplicação de elementos metálicos de ligação. Este sistema devido ao design que esboça, a nível visual, é o que aparenta ser mais sólido e ter maior resistência. Relativamente ao revestimento do teto, também não necessita de qualquer tipo de acabamento pois apresenta um aspeto estético muito agradável. Já o pavimento requer um acabamento que assegure o isolamento térmico e acústico, sendo necessário a utilização de “XPS Floormate”, sob a forma de uma membrana de espuma de Polietileno Reticulado, e um revestimento com placas de OSB adequadas para a atingir os valores pretendidos.

4.1.2. Parede Divisória Interior

Na apreciação das soluções de parede divisórias, considerou-se que, para além de autoportantes, demonstrassem eficiência em termos de isolamento acústico. Neste comparativo também foram contemplados os acabamentos, tendo-se utilizado a parede de alvenaria de tijolo como solução tradicional (figura 75) e como solução de pré-fabricado de madeira o sistema “Wenus” (Alternativa 1) e o sistema “CLT” (Alternativa 2).

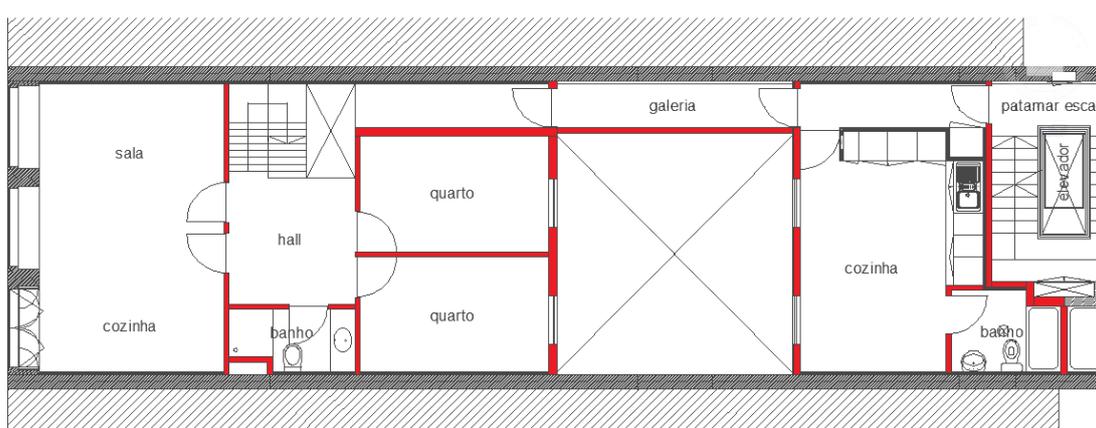


Figura 75 - Peça desenhada da habitação do edifício de estudo, com demarcação da área de intervenção (Adaptado das peças desenhadas do Edifício do Caso de Estudo)

✓ Solução de Parede Divisória em Alvenaria de Tijolo Furado (figura 76)

A parede divisória usada para o estudo, patente na página da internet “Gerador de Preços” do Programa Cype Ingenieros S.A., corresponde a um pano de parede divisória interior, com 11 cm de espessura de alvenaria, de tijolo cerâmico furado duplo, 30x20x11cm, assente em argamassa de cimento. No que concerne a rendimentos de trabalhos, apresenta uma montagem de estrutura a rondar os 40m²/dia.



Figura 76 - Parede divisória com tijolo furado (in <http://www.engenhariacivil.com/imagens/interior-paredes-tijolo.jpg>)



Figura 77 - Execução de reboco de parede divisória interior (in <http://static.assimsefaz.com.br/imagens>)

Tabela 32 – Material da Parede Divisória de Alvenaria de Tijolo Furado

		Quantidade	Unidade	Massa Unidade (kg)	Massa (kg/m ²)	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)
Material	Tijolo cerâmico furado duplo, 30x20x11 cm	16,800	un	5,00	84	0,12	2,02
	Argamassa de cimento com 230 kg/m ³ de cimento e uma proporção em volume 1/6	0,009	m ³	1288,33	11,59	115,30	1,04
Total		-	-	95,59 Kg/m²		3,06 €/m²	

Tabela 33 – Mão de Obra da Parede Divisória de Alvenaria de Tijolo Furado

	Recurso	Quantidade	Unidade	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)
Mão de Obra	Oficial de 1. ^a (construção em trabalhos auxiliares de pedreiro)	0,293	h	16,85	4,94
	Operário não qualificado (construção em trabalhos auxiliares de pedreiro)	0,147	h	15,82	2,33
Total		-	-	7,27 €/m²	

Tabela 34 – Material de Acabamento Parede Divisória de Alvenaria de Tijolo Furado

	Quantidade	Unidade	Massa Unidade (kg)	Massa (kg/m ²)	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)	
Material	Pasta de gesso de construção para projetar com misturadora bombeadora	0,024	m ³	830	19,92	94,66	2,27
	Pasta de gesso para aplicação em camada fina	0,006	m ³	630	3,78	88,58	0,53
	Cantoneiras de plástico e metal, estáveis à ação dos sulfatos	0,430	ml	-	-	0,35	0,15
	Rede de fibra de vidro, 5x5 mm de vão, 70 g/m ²	0,210	m ²	0,07	0,01	0,76	0,16
	Pintura de 2 demãos	1,000	m ²	-	-	2,50	2,50
	Total	-	-	23,71 Kg/m²		5,61 €/m²	

Tabela 35 – Mão de Obra para Acabamento Parede Divisória de Alvenaria de Tijolo Furado					
Mão de Obra	Recurso	Quantidade	Unidade	Custo Unidade (€)	Custo (€/m²)
	Estucador	0,500	h	16,08	8,04
	Ajudante de estucador	0,306	h	15,62	4,78
	Total	-	-	12,82 €/m²	

Tabela 36 – Custo da Parede Divisória Interior com Acabamento	
Material	Mão de Obra
8,67 €/m²	20,09 €/m²
Total: 28,76 €/m²	
Total Parede Divisória 150 m²	4.314,00 €

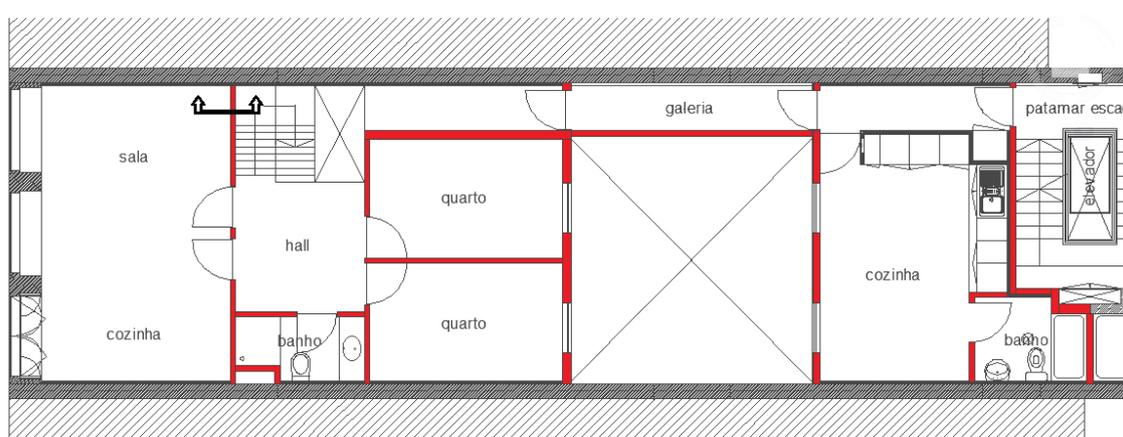


Figura 78 - Marcação da zona de corte da parede divisória interior na planta (Adaptado das peças desenhadas do Edifício do Caso de Estudo)

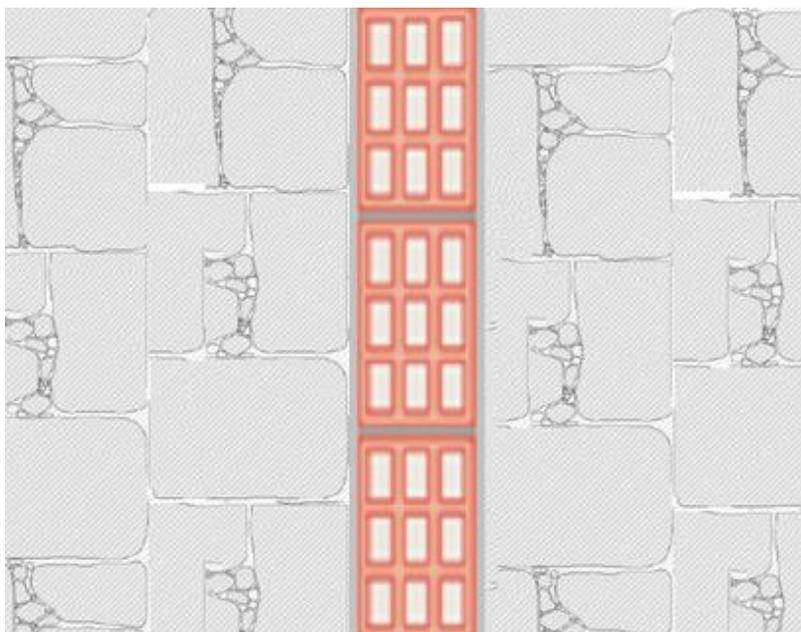


Figura 79 - Corte pormenorizado da solução tradicional de alvenaria de tijolo (Autoria própria)

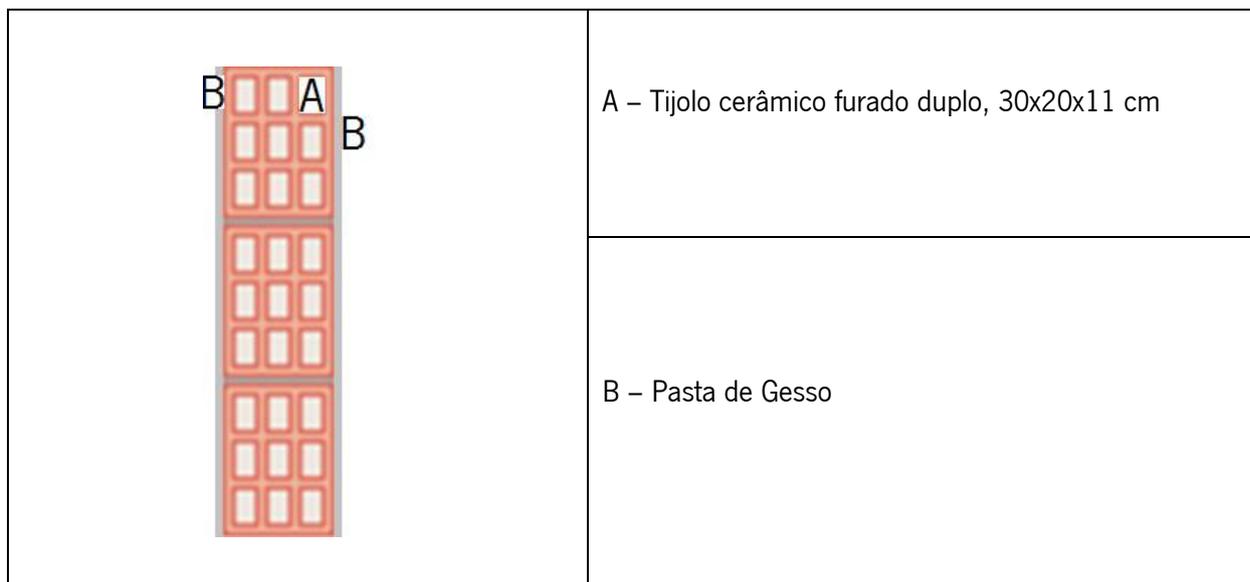


Figura 80 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem a solução tradicional de parede divisória interior (Autoria própria)

Tabela 37 - Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico

Material	Espessura (m)	Transmissão Térmica (W/m.°C)	Resistência Térmica (m².K/W)	Resistência Sonora (dB)
Resistência Térmica Superficial – Horizontal - Interior			0,130	-
A	0,110	0,379	0,290	40
B	0,060	0,180	0,333	
Resistência Térmica Superficial – Horizontal - Exterior			0,040	-
Resultados				
Isolamento Térmico (W/m².°C)			1,261	
Isolamento Acústico (dB)			40	

O sistema construtivo tradicional da parede divisória interior em alvenaria de tijolo liga-se à parede de alvenaria de pedra e assenta sobre uma laje de vigotas pré-esforçada. Como acabamento final utiliza-se reboco de pasta de gesso, sendo posteriormente pintado com duas demãos de tinta. Este sistema de divisão das várias partições da habitação não apresenta materiais que permitam o isolamento térmico e acústico.

✓ **Alternativa 1 - Solução com Sistema Pré-Fabricado de Madeira “Wenus”** (figura 81)

Por forma a obter os custos e rendimentos dos recursos recorreu-se novamente à empresa CBS-CBT, divulgando um valor para a execução de paredes divisórias com colocação e montagem, por equipas da empresa, entre 30€/m² a 45€/m². Quanto ao rendimento de trabalhos, a empresa garante um transporte fácil e montagem rápida com produtividade de cerca de 250m²/dia, com qualidade perfeitamente controlada. Salienta-se o facto do sentido da configuração “W” poder ser horizontal ou vertical.

Tabela 38 – Material, Mão de Obra e Rendimento da Parede Interior Sistema Pré-Fabricado “Wenus”	
Material e Mão de Obra Equipa “CBS-CBT”	35,00 €/m²
Total: 35.00 €/m²	
Peso Próprio – 50 Kg/m²	
Total Parede Divisória 150 m²	5.250,00 €



Figura 81 - Aspetto de uma parede constituída pelo sistema “Wenus” (in CBS-CBT)

Tabela 39 – Material de Acabamento Parede Interior “Wenus”

Material		Quantidade	Unidade	Massa Unidade (kg)	Massa (kg/m²)	Custo Unidade (€)	Custo (€/m²)
	Placa de OSB	1,000	m²	10,80	10,80	13,76	13,76
Painel de Lã Mineral	1,000	m²	4,10	4,10	4,32	4,32	
Total	-	-	14,90 kg/m²		18,08 €/m²		

Tabela 40 – Mão de Obra para Acabamento Parede Interior “Wenus”

Mão de Obra	Recurso	Quantidade	Unidade	Custo Unidade (€)	Custo (€/m²)
	Carpinteiro	0,500	h	16,08	8,04
Ajudante de Carpinteiro	0,306	h	15,62	4,78	
Total	-	-	12,82 €/m²		

Tabela 41 – Custo do Acabamento Parede Interior “Wenus”

Material	Mão de Obra
18,08 €/m²	12,82 €/m²
Total: 30,90 €/m²	
Total – Acabamento Parede Interior “Wenus” (150,00 m³)	4.635,00 €

Tabela 42 – Custo da Parede Interior “Wenus” com Acabamento	
Material e Mão de Obra Equipa “CBS-CBT”	5.250,00 €
Material e Mão de Obra para Acabamento da Parede Interior “Wenus”	4.635,00 €
Total Parede Interior “Wenus” 150.00 m²	9.885,00 €

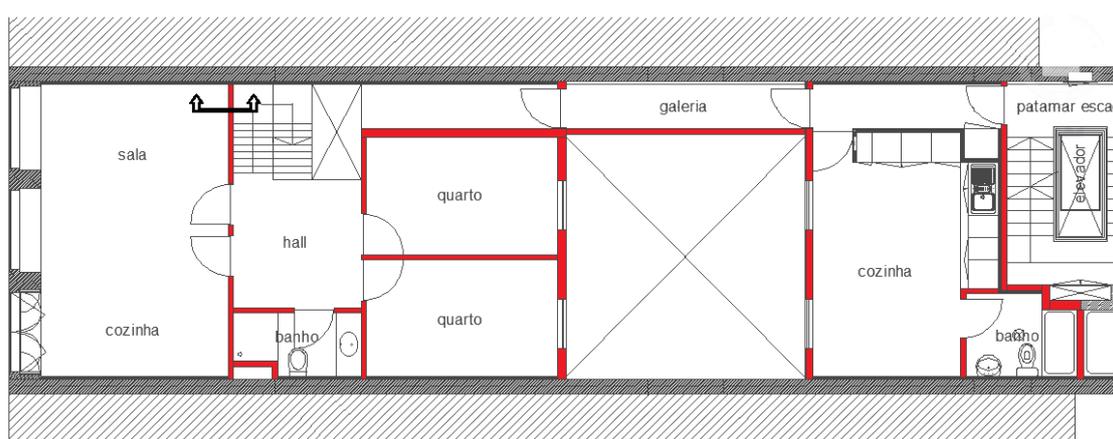


Figura 82 - Marcação da zona de corte da parede divisória interior na planta (Adaptado das peças desenhadas do Edifício do Caso de Estudo)

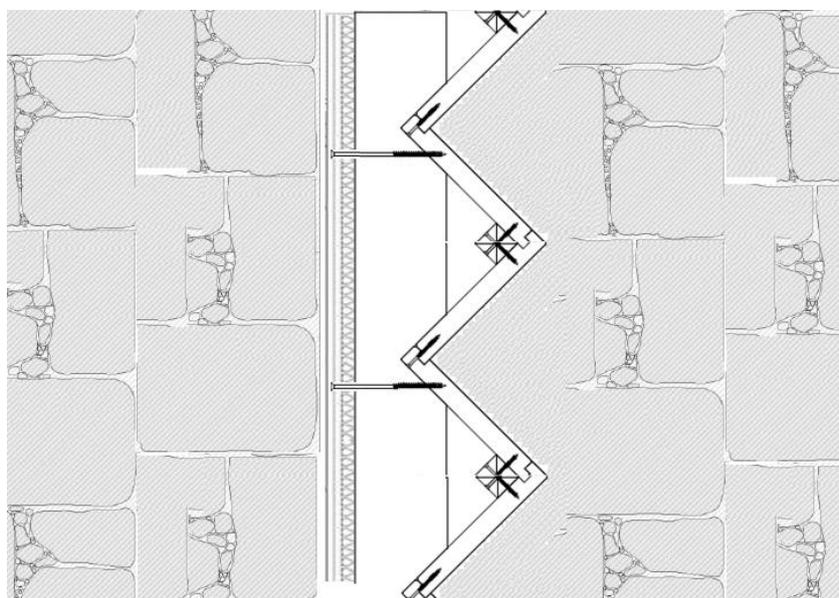


Figura 83 - Corte pormenorizado da solução pré-fabricada do sistema “Wenus” (Autoria própria)

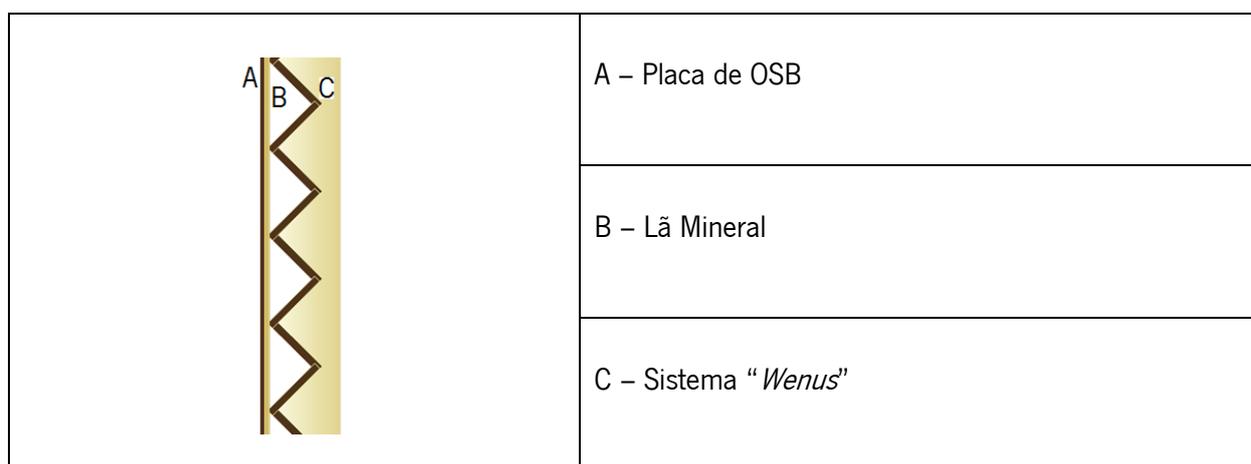


Figura 84 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem o sistema pré-fabricado “Wenus” como parede divisória interior (in CBS-CBT)

Tabela 43 - Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico

Material	Espessura (m)	Transmissão Térmica (W/m.°C)	Resistência Térmica (m².K/W)	Resistência Sonora (dB)
Resistência Térmica Superficial – Horizontal – Interior			0,130	-
A	0,02	0,012	1,667	8
B	0,02	0,044	0,454	26
Resistência Térmica Caixa de Ar			0,180	-
C	0,38	0,12	3,167	12
Resistência Térmica Superficial – Horizontal – Exterior			0,040	-
Resultados				
Isolamento Térmico (W/m².°C)			0,178	
Isolamento Acústico (dB)			46	

O sistema “Wenus” quando usado em paredes apresenta as mesmas características estéticas que em pavimentos. Este sistema liga-se à parede de alvenaria de pedra diretamente ou com o auxílio de elementos de ligação. Uma das faces é revestida a placas de OSB, permitindo assim um embelezamento duplo da parede, e também é introduzida lã mineral para o alcance dos valores de isolamento térmicos e acústicos pretendidos.

✓ **Alternativa 2 - Solução com Sistema Pré-Fabricado de Madeira “CLT”** (figura 85)

Por forma a obter os custos e rendimentos dos recursos, realizou-se uma pesquisa junto da empresa LXS Group, pelo que foi dado 103€/m² como valor para a execução da parede divisória com colocação e montagem, por equipas da empresa. Quanto a rendimentos de trabalhos, a empresa garante um transporte fácil e montagem rápida com rendimentos de cerca de 200m²/dia, com qualidade perfeitamente controlada.



Figura 85 - Peça de um sistema “CLT” e aspeto final da parede divisória interior produzido pelo sistema (in KLH.com; www.casas-madeira.com)

Tabela 44 – Material, Mão de Obra e Rendimento da Parede Interior Sistema Pré-Fabricado “CLT”	
Material “LXS Group” – CLT de 60mm	Mão de Obra Equipa “LXS Group”
43 €/m ²	60 €/m ²
Total: 103€/m ²	
Peso Próprio – 28,20 kg/m ²	
Total Parede Divisória Sistema Pré-Fabricado “CLT” 150 m²	15.450,00 €

Tabela 45 – Material de Acabamento Parede Interior Sistema “CLT”							
Material		Quantidade	Unidade	Massa Unidade (kg)	Massa (kg/m ²)	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)
		Placa de OSB	1,000	m ²	10,80	10,80	13,76
	Painel de Lã Mineral	1,000	m ²	4,10	4,10	4,32	4,32
Total		-	-	14,90 kg/m²		18,08 €/m²	

Tabela 46 – Mão de Obra de Acabamento Parede Interior Sistema “CLT”

Mão de Obra	Recurso	Quantidade	Unidade	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)
	Carpinteiro	0,500	h	16,08	8,04
	Ajudante de Carpinteiro	0,306	h	15,62	4,78
	Total	-	-	12,82 €/m²	

Tabela 47 – Custo do Acabamento Parede Interior Sistema “CLT”

Material	Mão de Obra
18,08 €/m ²	12,82 €/m ²
Total: 30,90 €/m ²	
Total – Acabamento Parede Divisória Sistema “CLT” (150 m²)	4.635,00 €

Tabela 48 – Custo da Parede Interior Sistema Pré-Fabricado “CLT” com Acabamento

Material e Mão de Obra Equipa “LXS Group” Sistema “CLT”	15.450,00 €
Material e Mão de Obra para Acabamento da Laje “CLT”	4.635,00 €
Total Parede Divisória com Acabamento 150 m²	20.085,00 €

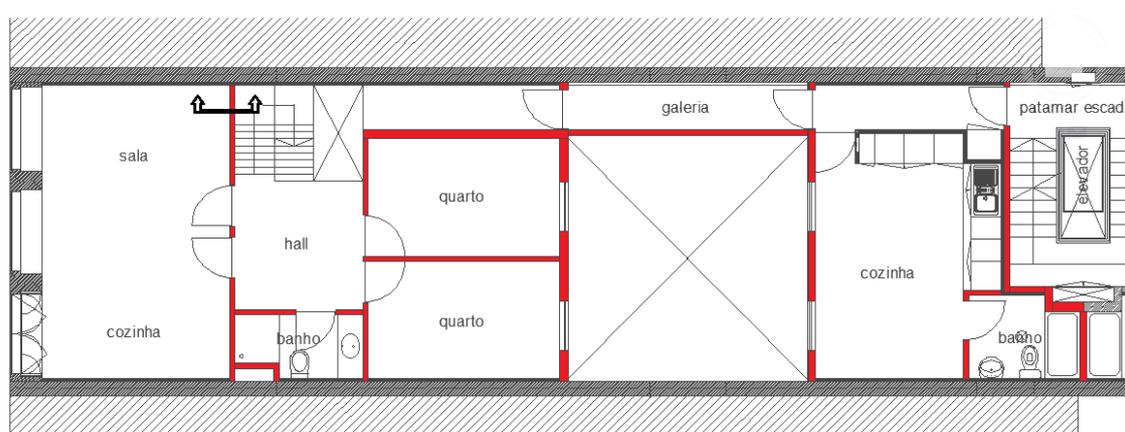


Figura 86 - Marcação da zona de corte da parede divisória interior na planta (Adaptado das peças desenhadas do Edifício do Caso de Estudo)

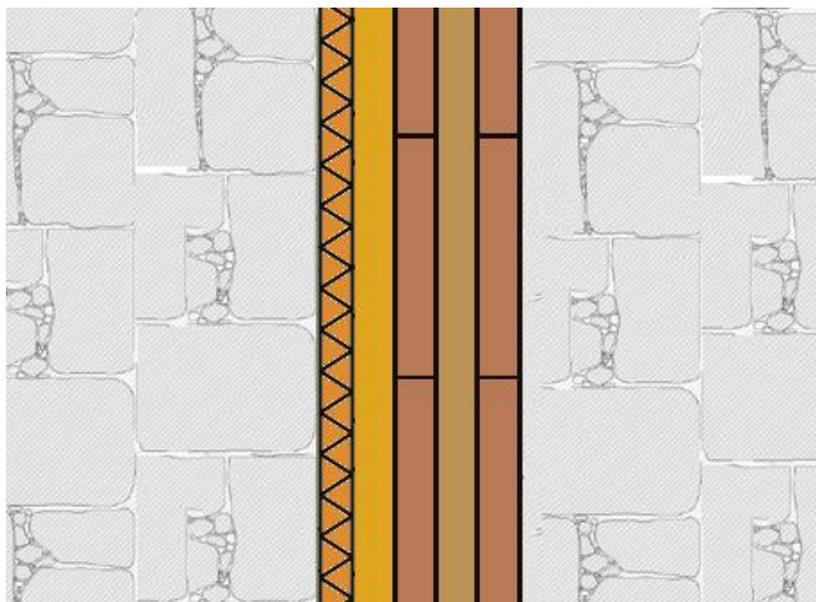


Figura 87 - Corte pormenorizado da solução pré-fabricada do sistema "CLT" (Autoria própria)

<p>Figura 88 is a schematic diagram showing three vertical layers labeled A, B, and C. Layer A is a thin yellow zigzag pattern (OSB), layer B is a thin yellow solid block (Mineral Wool), and layer C is a thicker brown wood-grain pattern (CLT).</p>	A – Placa de OSB
	B – Painel de Lã Mineral
	C – Sistema "CLT"

Figura 88 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem o sistema pré-fabricado "CLT" como parede divisória interior (Autoria própria)

Tabela 49 - Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico

Material	Espessura (m)	Transmissão Térmica (W/m.°C)	Resistência Térmica (m ² .K/W)	Resistência Sonora (dB)
Resistência Térmica Superficial – Horizontal – Interior			0,130	-
A	0,020	0,012	1,667	8
B	0,020	0,044	0,454	26
C	0,060	0,120	0,500	25
Resistência Térmica Superficial – Horizontal – Exterior			0,040	-

Resultados	
Isolamento Térmico ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	0,358
Isolamento Acústico (dB)	59

O sistema “CLT”, tal como já foi mencionado, apoia-se à parede de alvenaria com o recurso a elementos de ligação e visualmente aparenta ser o mais sólido e resistente. Também não necessita de qualquer tipo de revestimento, dado o seu aspeto estético extraordinário, no entanto, por forma a atingir valores de isolamento térmicos e acústicos satisfatórios aplica-se, numa das faces, painel de lã de rocha e placas de OSB.

4.1.3. Cobertura

Na análise das soluções de coberturas inclinadas de duas águas, sendo o revestimento das duas coberturas em telha de canudo, utilizou-se como solução tradicional a cobertura inclinada com murete de tijolo (figura 89) e, como solução de pré-fabricado de madeira, o sistema “Véga” (Alternativa 1) e o “CLT” (Alternativa 2).

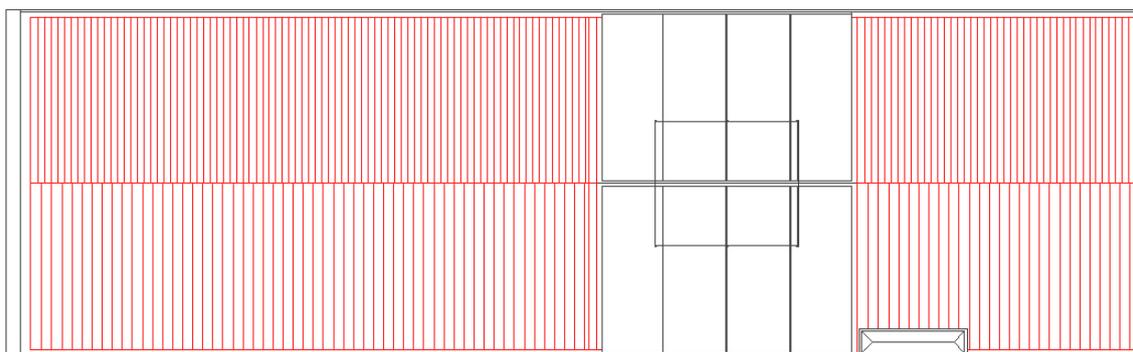


Figura 89 - Peça desenhada da habitação do edifício de estudo, com demarcação da área de intervenção (Adaptado das peças desenhadas do Edifício do Caso de Estudo)

✓ Solução de Cobertura Inclinada Tradicional

O sistema de cobertura inclinado utilizado para o estudo apresenta-se descrito, na página da internet “Gerador de Preços” do Programa Cype Ingenieros S.A., como uma cobertura inclinada composta por um painel cerâmico furado, 50x20x3cm, sobre muretes em tijolo cerâmico furado, tudo sobre a laje aligeirada. A cobertura é composta por uma telha cerâmica canudo, 40x19x16cm, de cor vermelha, fixada com parafusos rosca-madeira sobre ripas de madeira de pinho tratado da região. Em termos de rendimentos de trabalhos, este sistema construtivo demonstra uma montagem da estrutura a rondar os 15m²/dia.

Tabela 50 – Material da Cobertura Tradicional

Material		Quantidade	Unidade	Massa Unidade (kg)	Massa (kg/m²)	Custo Unidade (€)	Custo (€/m²)
	Tijolo cerâmico furado duplo 30x20x9cm	22,077	un	3,70	81,68	0,11	2,43
	Argamassa de cimento com 230 kg/m³ de cimento e uma proporção em volume 1/6	0,025	m³	1.288,33	32,21	115,30	2,88
	Painel cerâmico furado 50x20x3cm	10,900	un	2,70	29,43	0,24	2,62
	Ripa de madeira de pinho tratado 50x20x3cm	3,000	m	3,00	9,00	0,46	1,38
	Parafuso para fixação de ripa	6,000	un	-	-	0,26	1,56
	Parafuso rosca- madeira para fixação de telhas em ripa	4,500	un	-	-	0,06	0,27
	Telha cerâmica canudo 40x19x16cm	30,200	un	1,750	52,85	0,25	7,55
	Peça cerâmica de cumeeira para telhas canudo	0,320	un	2,500	0,80	0,75	0,24
	Telha cerâmica canudo 40x19x16cm	0,400	un	1,750	0,70	0,25	0,10

	Telha cerâmica canudo 40x19x16cm	1,969	un	1,750	3,45	0,25	0,49
	Telha cerâmica de ventilação	0,100	un	1,950	0,195	6,50	0,65
Total		-	-	210,32 Kg/m²		20,17 €/m²	

Tabela 51 – Mão de Obra da Cobertura Tradicional

Mão de Obra	Recurso	Quantidade	Unidade	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)
	Oficial de 1. ^a construção	1,555	h	16,85	26,20
	Operário não qualificado de construção	1,555	h	15,82	24,60
Total		-	-	50,80 €/m²	

Tabela 52 – Custo da Cobertura Tradicional

Material	Mão de Obra
20,17 €/m ²	50,80 €/m ²
Total: 70,97 €/m ²	
Total Cobertura 95.89 m²	6.805,32 €

Tabela 53 – Custo da Laje Aligeirada para a Cobertura Tradicional

Material	Mão de Obra
27,56 €/m ²	23,46 €/m ²
Total: 51,02 €/m ²	
Peso Próprio – 416,50 kg/m ²	
Total Laje Aligeirada para a Cobertura Tradicional 117,70 m²	6.005,05 €

Tabela 54 – Custo do Sistema de Cobertura Tradicional	
Cobertura Tradicional	6.805,32 €
Laje Aligeirada para a Cobertura Tradicional	6.005,05 €
Total Sistema de Cobertura Tradicional	12.810,37 €

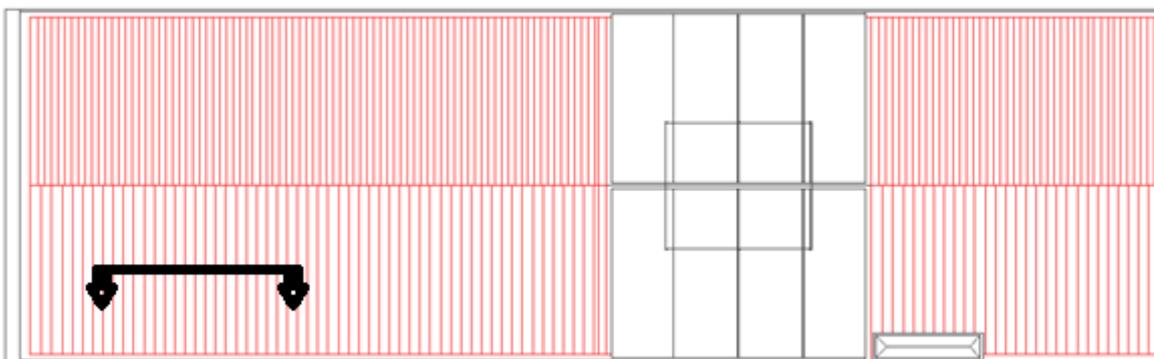


Figura 90 - Marcação da zona de corte da cobertura na planta (Adaptado das peças desenhadas do Edifício do Caso de Estudo)

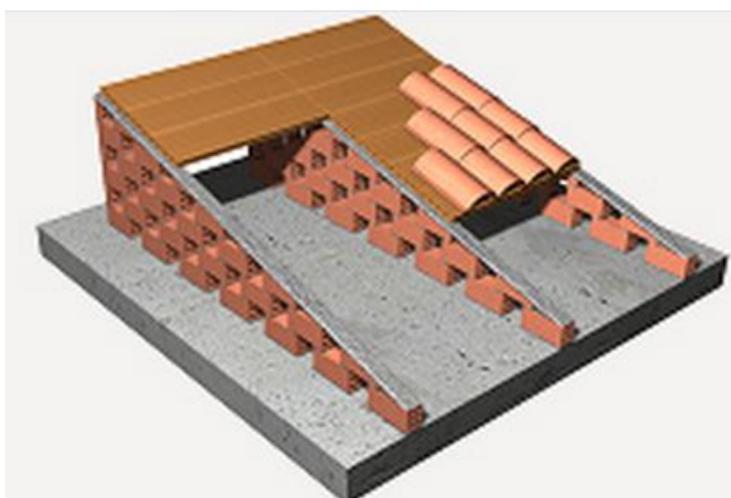


Figura 91 - Imagem da solução de cobertura tradicional (in CYPE)

	A – Telha Cerâmica “Canudo”
	B – Painel Cerâmico Furado

Figura 92 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem a cobertura tradicional (in www.masterblock.pt)

Tabela 55 - Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico

Material	Espessura (m)	Transmissão Térmica (W/m.°C)	Resistência Térmica (m ² .K/W)	Resistência Sonora (dB)
Resistência Térmica Superficial – Ascendente – Interior			0,100	-
B	0,03	0,294	0,102	3
Resistência Térmica Espaço de Ar Não Ventilado			0,160	-
Laje Aligeirada de Vigotas Pré Esforçadas			0,817	47
Resistência Térmica Superficial – Ascendente – Exterior			0,040	-
Resultados				
Isolamento Térmico (W/m ² .°C)			0,820	
Isolamento Acústico (dB)			50	

O sistema construtivo tradicional para a construção da cobertura assenta sobre uma laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas, sendo os muretes de tijolo realizados sobre a laje e os painéis cerâmicos apoiados nos muretes, recebendo a telha de canudo como acabamento final. Dado a cobertura ser um dos principais pontos para o aparecimento de patologias, nomeadamente pela ação das infiltrações, é imperativo a realização de uma boa construção e de uma manutenção periódica.

✓ **Alternativa 1 - Solução com Sistema Pré-Fabricado de Madeira “Véga”** (figura 93)

Por forma a obter os custos e rendimentos dos recursos, recorreu-se mais uma vez à empresa CBS-CBT, sendo o valor para a execução de cobertura com colocação e montagem, por equipas da empresa, 105€/m². Relativamente a rendimentos de trabalhos, a empresa garante um transporte fácil e montagem rápida com rendimentos de cerca de 200m²/dia e com qualidade perfeitamente controlada.



Figura 93 - Aspetto final da cobertura produzida pelo sistema “Véga” (in CBS-CBT)

Tabela 56 – Material, Mão de Obra e Rendimento da Cobertura Sistema Pré-Fabricado “Véga”	
Material e Mão de Obra Equipa “CBS-CBT”	105,00 €/m ²
Total: 105,00 €/m ²	
Peso Próprio – 60 kg/m ²	
Total Cobertura Sistema Pré-Fabricado “Véga” 95.89 m²	10.068,45 €

Tabela 57 – Material de Acabamento da Cobertura Sistema Pré-Fabricado “Véga”

Material		Quantidade	Unidade	Massa Unidade (kg)	Massa (kg/m ²)	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)
	Membrana de Espuma de 1cm	1,000	m ²	0,25	0,25	2,72	2,72
	Painel de Isolamento de Fibras de Madeira de 20cm	1,000	m ²	10	10	11,50	11,50
	Painel de Fibras de Madeira de 2,2cm	1,000	m ²	5,38	5,38	4,50	4,50
	Ripa de Madeira de Pinho Tratado	6,000	m	1,50	9,00	0,36	2,16

Contra Ripa de Madeira de Pinho Tratado	3,000	m	3,00	9,00	0,46	1,38
Parafuso para fixação de ripa	6,000	un	-	-	0,26	1,56
Parafuso rosca-madeira para fixação de telhas em ripa	4,500	un	-	-	0,06	0,27
Telha cerâmica canudo 40x19x16cm	30,200	un	1,750	52,85	0,25	7,55
Peça Cerâmica de Cumeeira para Telhas Canudo	0,320	un	2,500	0,80	0,75	0,24
Telha Cerâmica Canudo 40x19x16cm	0,400	un	1,750	0,70	0,25	0,10
Telha Cerâmica Canudo 40x19x16cm	1,969	un	1,750	3,45	0,25	0,49
Telha Cerâmica de Ventilação	0,100	un	1,950	0,195	6,50	0,65
Total	-		91,63 Kg/m²		33,12 €/m²	

Tabela 58 – Mão de Obra para Acabamento Cobertura Sistema Pré-Fabricado “Véga”

Mão de Obra	Recurso	Quantidade	Unidade	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)
	Oficial de 1.ª construção	1,555	h	16,85	26,20
	Operário não qualificado de construção	1,555	h	15,82	24,60
Total	-	-	-	50,80 €/m²	

Tabela 59 – Custo do Acabamento Cobertura Sistema Pré-Fabricado “Véga”	
Material	Mão de Obra
33,12 €/m ²	50,80 €/m ²
Total: 83,62 €/m ²	
Total – Acabamento Cobertura Sistema Pré-Fabricado “Véga” (95,89 m²)	8.018,32 €

Tabela 60 – Custo da Cobertura Sistema Pré-Fabricado “Véga” com Acabamento	
Material e Mão de Obra Equipa “CBS-CBT”	10.068,45 €
Material e Mão de Obra para Acabamento da Cobertura do Sistema “Wenus”	8.018,32 €
Total Cobertura Sistema Pré-Fabricado “Véga” 95,89 m²	18.086,77 €



Figura 94 - Montagem, transporte e colocação de uma cobertura “Véga” (in CBS-CBT)

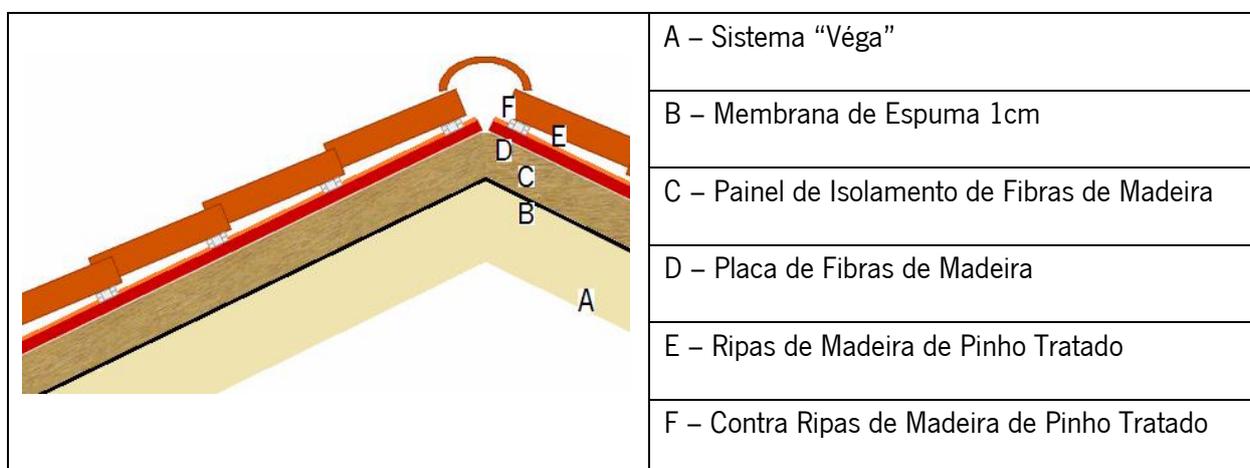


Figura 95 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem a cobertura “Véga” (Adaptado de Onduline)

Tabela 61 - Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico

Material	Espessura (m)	Transmissão Térmica (W/m.°C)	Resistência Térmica (m ² .K/W)	Resistência Sonora (dB)
Resistência Térmica Superficial – Vertical Ascendente – Interior			0,100	-
A	0,100	0,130	0,769	13
B	0,010	0,220	0,045	5
C	0,200	0,040	5,00	25
D	0,022	0,047	0,468	9
E	0,050	0,13	0,385	-
F	0,030	0,13	0,231	-
Resistência Térmica Superficial – Vertical Ascendente – Exterior			0,040	-
Resultados				
Isolamento Térmico (W/m ² .°C)			0,142	
Isolamento Acústico (dB)			52	

O sistema pré-fabricado “Véga” utiliza-se apenas para coberturas, possuindo, além das funções estruturais exigidas, uma excelente apresentação estética. Este pode-se apoiar nas paredes de alvenaria não necessitando de uma laje para tal, contrariamente ao que acontece no caso da cobertura tradicional. Por forma a garantir os requisitos de isolamento acústico e, principalmente, térmico, aplicam-se várias camadas de proteção, sendo a membrana de espuma colocada por cima do sistema pré-fabricado “Véga”, depois um painel de isolamento de fibras de madeira e posteriormente a aplicação sobre o mesmo de um painel de fibras de madeira para o suporte das ripas e contra as mesmas, onde as telhas de canudo assentam.

✓ **Alternativa 2 - Solução com Sistema Pré-Fabricado de Madeira “CLT”** (figura 96)

Por forma a obter os custos e rendimentos dos recursos, foi feita novamente uma pesquisa junto da empresa LXS Group, dando como valor para a execução da cobertura com colocação e montagem, por equipas da empresa, 118 €/m². Quanto ao rendimento de trabalhos, a empresa garante um transporte fácil e montagem rápida com produtividade de cerca de 150m²/dia e qualidade perfeitamente controlada.



Figura 96 - Peça de um sistema “CLT” e aspeto final do teto produzido pelo sistema (in KLH.com ; www.huntlycrescenttraploch.co.uk)

Tabela 62 – Material, Mão de Obra e Rendimento da Cobertura Sistema Pré-Fabricado “CLT”	
Material “LXS Group” – CLT de 60 mm	Mão de Obra Equipa “LXS Group”
58 €/m ²	60 €/m ²
Total: 118 €/m ²	
Peso Próprio – 42,30 kg/m ²	
Total Cobertura Sistema Pré-Fabricado “CLT” 95,89 m²	11.315,02 €

Tabela 63 – Material de Acabamento Cobertura Sistema Pré-Fabricado “CLT”							
Material		Quantidade	Unidade	Massa Unidade (kg)	Massa (kg/m ²)	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)
	Membrana de Espuma de 1cm	1,000	m ²	0,25	0,25	2,72	2,72
	Painel de Isolamento de Fibras de Madeira de 20cm	1,000	m ²	10	10	11,50	11,50
	Painel de Fibras de Madeira de 2,2cm	1,000	m ²	5,38	5,38	4,50	4,50

Ripa de Madeira de Pinho Tratado	6,000	m	1,50	9,00	0,36	2,16
Contra Ripa de Madeira de pinho tratado	3,000	m	3,00	9,00	0,46	1,38
Parafuso para fixação de ripa	6,000	un	-	-	0,26	1,56
Parafuso rosca-madeira para fixação de telhas em ripa	4,500	un	-	-	0,06	0,27
Telha cerâmica canudo 40x19x16cm	30,200	un	1,750	52,85	0,25	7,55
Peça Cerâmica de Cumeeira para Telhas Canudo	0,320	un	2,500	0,80	0,75	0,24
Telha Cerâmica Canudo 40x19x16cm	0,400	un	1,750	0,70	0,25	0,10
Telha Cerâmica Canudo 40x19x16cm	1,969	un	1,750	3,45	0,25	0,49
Telha Cerâmica de ventilação	0,100	un	1,950	0,195	6,50	0,65
Total	-		91,63 Kg/m²		33,12 €/m²	

Tabela 64 – Mão de Obra para Acabamento Cobertura Sistema “CLT”

Mão de Obra	Recurso	Quantidade	Unidade	Custo Unidade (€)	Custo (€/m ²)
	Carpinteiro	0,500	h	16,08	8,04
	Ajudante de Carpinteiro	0,306	h	15,62	4,78
	Servente	0,500	h	16,08	8,04
	Ajudante de Servente	0,306	h	15,62	4,78
Total		-	-	25,64 €/m²	

Tabela 65 – Custo do Acabamento Cobertura Sistema “CLT”

Material	Mão de Obra
33,12 €/m ²	25,64 €/m ²
Total: 58,76 €/m ²	
Total – Acabamento Cobertura “CLT” (95,89 m²)	5.634,50 €

Tabela 66 – Custo da Cobertura Sistema Pré-Fabricado “CLT” com Acabamento

Material e Mão de Obra Equipa “LXS Group” Sistema “CLT”	11.315,02 €
Material e Mão de Obra para Acabamento da Cobertura “CLT”	5.634,50 €
Total Cobertura com Acabamento 95,89 m²	16.949,52 €



Figura 97 - O belo acabamento de uma cobertura de solução pré-fabricada do sistema “CLT” (in www.huntlycrescentaploch.co.uk)

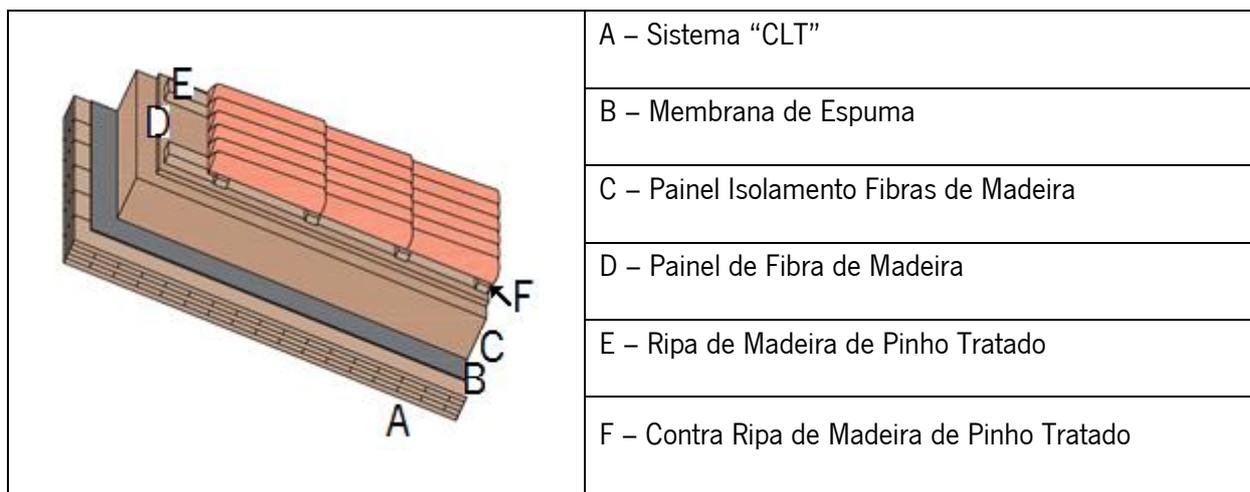


Figura 98 - Esquema estratificado das várias camadas que compõem a cobertura “CLT” (in www.klh.com)

Tabela 67 - Cálculo dos Valores de Isolamento Térmico e Acústico

Material	Espessura (m)	Transmissão Térmica (W/m.°C)	Resistência Térmica (m2.K/W)	Resistência Sonora (dB)
Resistência Térmica Superficial – Vertical Ascendente – Interior			0,100	-
A	0,090	0,120	0,750	15
B	0,010	0,220	0,045	5
C	0,200	0,040	5,00	25
D	0,022	0,047	0,468	9
E	0,050	0,13	0,385	-
F	0,030	0,13	0,231	-
Resistência Térmica Superficial – Vertical Ascendente – Exterior			0,040	-
Resultados				
Isolamento Térmico (W/m².°C)			0,142	
Isolamento Acústico (dB)			54	

4.2. Análise dos Dados Obtidos

Através da literatura investigada, pesquisa documental, observação, análise de situações que carecem de reabilitação encontradas no edifício em estudo, e de acordo com algumas informações facultadas pelo Engenheiro e Arquiteta da obra, foram reunidas algumas das potencialidades dos elementos pré-fabricados de madeira no contexto da reabilitação. Esta fase resultou de uma análise, que envolveu uma componente quantitativa, onde foram identificadas as variáveis subjacentes ao material e as de maior interesse aquando a seleção do mesmo, e uma componente qualitativa, onde se descreveu as potencialidades dos elementos pré-fabricados de madeira para cada três soluções construtivas, exibidas em três quadros resumo, os quais representam um guia de recomendações para ações de reabilitação.

Analisando então os dados patentes na secção anterior, importa perceber concretamente quais dos sistemas de construção (convencionais e pré-fabricados) apresentam melhores valores no âmbito da reabilitação, para os vários elementos que apresentam madeira no edifício em questão (lajes, paredes e coberturas) e que carecem de processos de reabilitação. Os resultados apresentam-se, seguidamente, sob a forma de gráficos e o conjunto de variáveis em análise (custo, peso, rendimento de execução e isolamento térmico e acústico) destacam-se pela pertinência que demonstram aquando a seleção de um material de construção.

Começando-se pelas lajes ao nível da execução de trabalhos, é notável a diferença entre os dois sistemas, tal como se pode reparar no gráfico abaixo (gráfico 1). Os sistemas pré-fabricados apresentam valores 100, 300 e 400% superiores ao sistema tradicional de vigotas de betão pré-esforçadas. O rendimento do trabalho é cada vez mais importante aquando a realização de um projeto, dados os encargos em mão de obra e a duração da realização da intervenção.

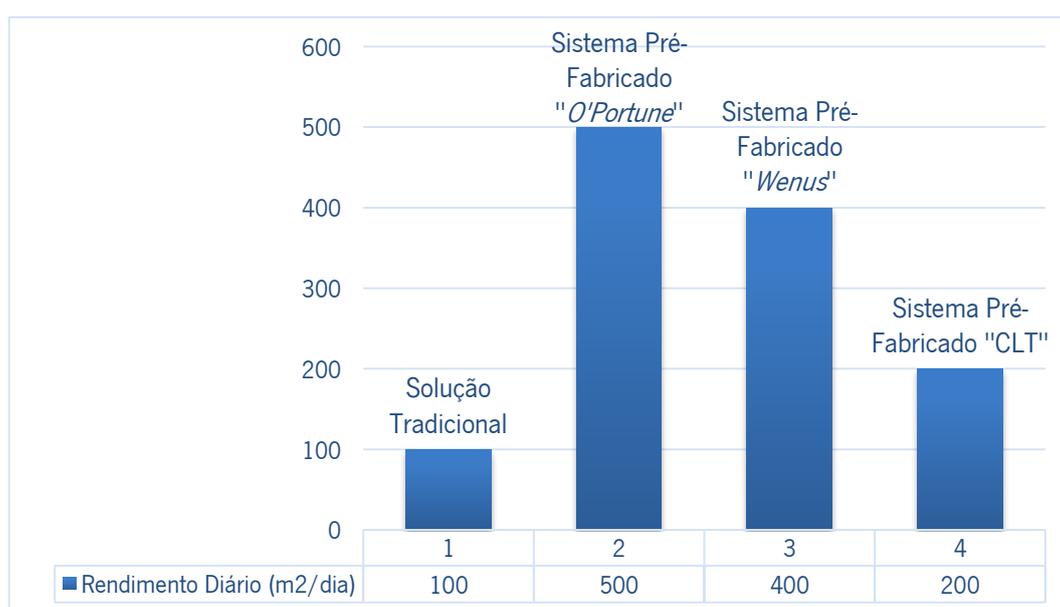


Gráfico 1 – Comparativo do rendimento diário das soluções para lajes

No que concerne ao custo de execução das lajes e ao peso das mesmas, o sistema mais económico corresponde à solução tradicional (gráfico 2), embora esta apresente um maior peso. A diferença de preço de uma laje de sistema tradicional para uma solução de sistema pré-fabricado pode ser de 449,52€, 2360,97€ ou 3493,24€, enquanto que, em termos de peso face à solução tradicional, o sistema pré-fabricado “*O’Portune*” mostra uma redução de cerca 72,41%, o “*Wenus*” de 81,80€ e o “CLT” de 86,97%. Numa análise pormenorizada, nota-se que o sistema pré-fabricado “*Wenus*” é o que apresenta melhores condições para os parâmetros de custo e peso próprio.

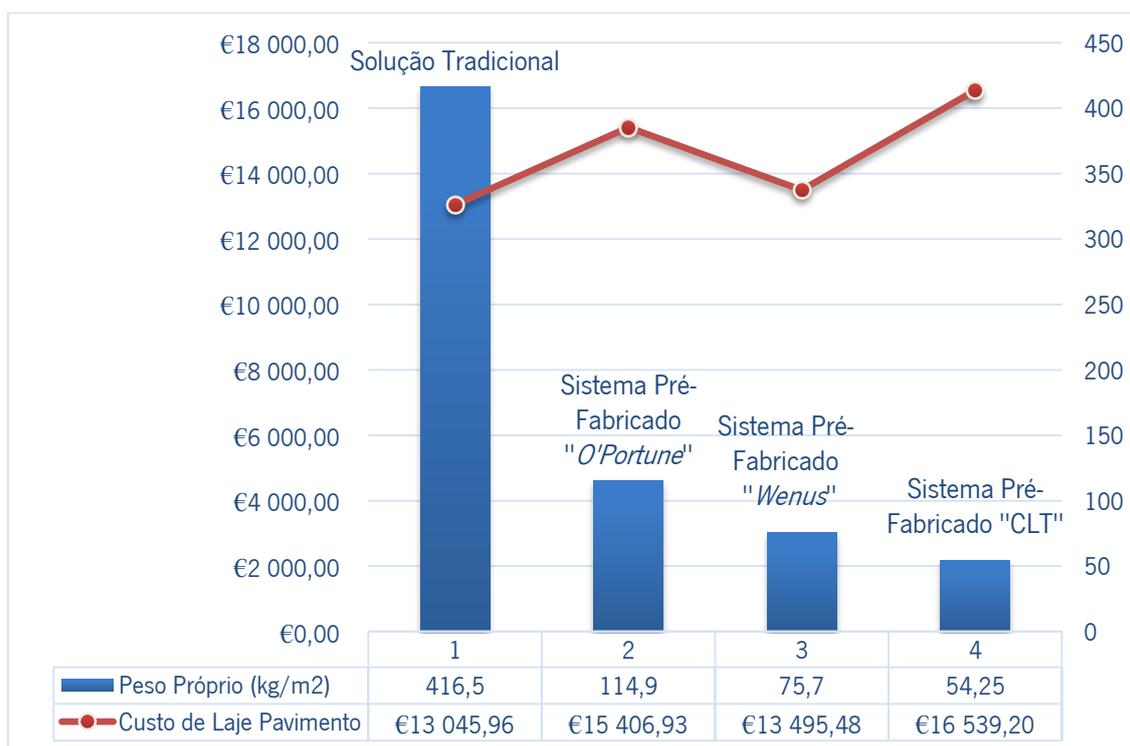


Gráfico 2 – Comparativo entre os custos e o peso próprio das soluções para lajes

O isolamento térmico e acústico tem ganho cada vez mais relevância aquando a escolha de materiais, pois possibilitam a redução do consumo de energia, dado não permitirem trocas térmicas e a passagem de ondas sonoras facilmente. Neste comparativo (gráfico 3), o sistema “*O’Portune*” é o melhor qualificado em termos térmicos e acústicos.

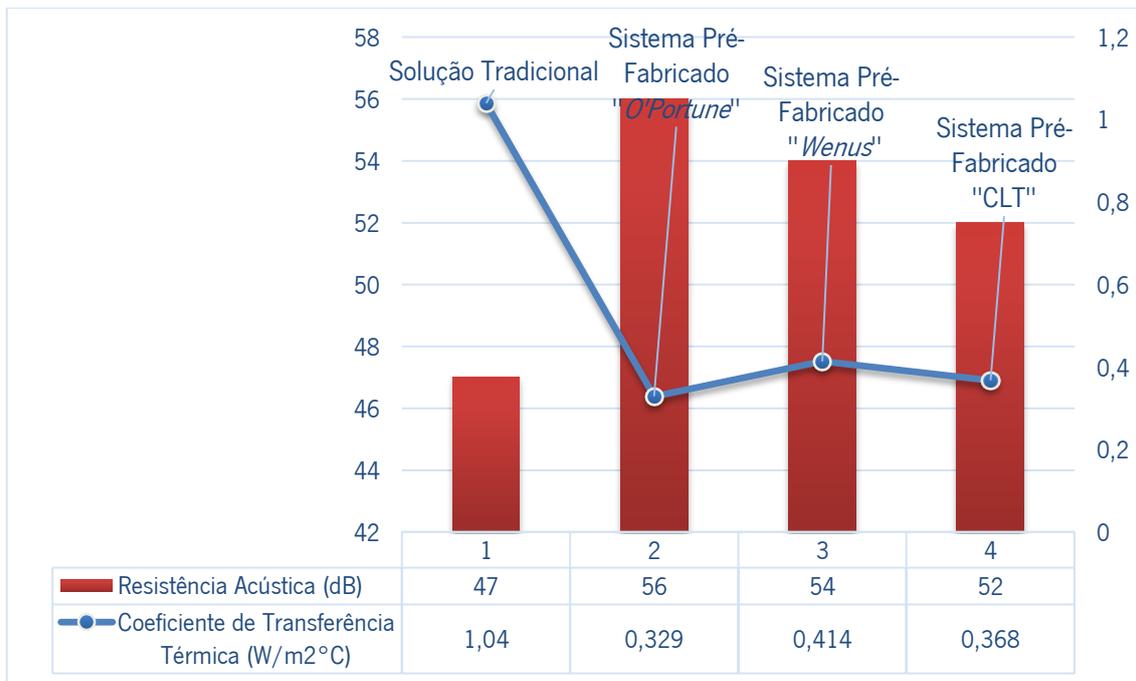


Gráfico 3 – Comparativo entre a resistência acústica e térmica das soluções para lajes

Resumindo, em termos de sistemas construtivos para a execução de uma laje, os sistemas pré-fabricados apresentam diversas qualidades e vantagens que a solução tradicional não contempla, sendo perceptível pelos resultados exibidos. De entre os vários sistemas pré fabricados, neste campo, o “O’Portune” apresenta-se como o mais favorável.

Seguindo-se para as paredes divisórias interiores, tal como no caso das lajes, a diferença ao nível do rendimento de trabalho é visivelmente bastante mais elevada nos sistemas pré-fabricados (gráfico 4). Assim, o sistema “Wenus” e “CLT”, quando comparados com o sistema tradicional de alvenaria de tijolo, apresentam, respetivamente, valores cerca de 18 e 14 vezes superiores.

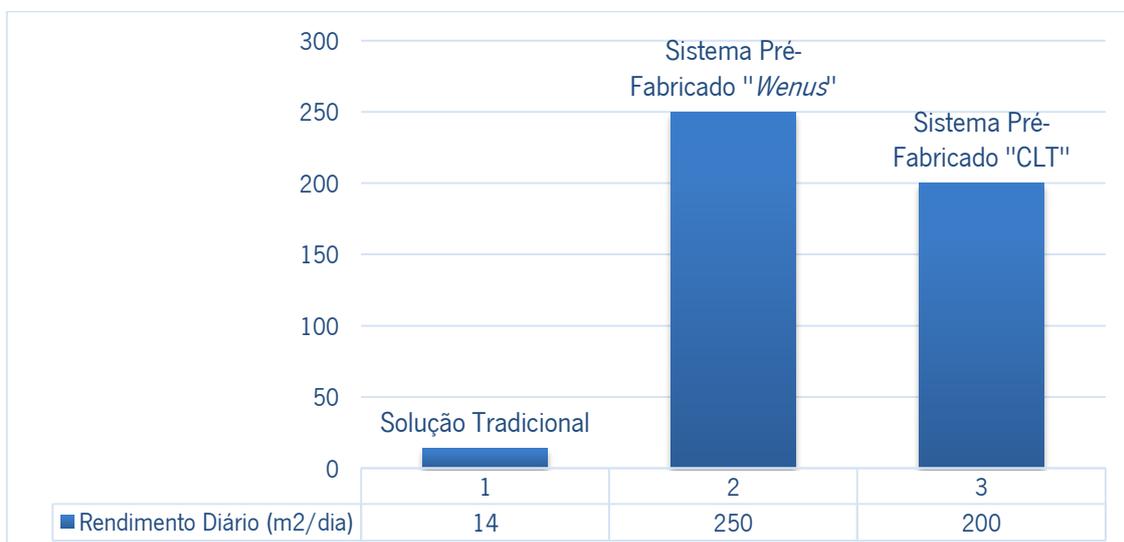


Gráfico 4 – Comparativo do rendimento diário das soluções para paredes divisórias interiores

Analisando os valores do custo da execução de paredes divisórias interiores e do peso das mesmas (gráfico 5), o sistema mais barato é a solução tradicional embora com um maior peso associado. Contrariamente acontece com o sistema pré-fabricado “CLT”, o qual apresenta menor massa, porém um preço significativamente mais alto em relação aos restantes. Pensa-se que o sistema pré-fabricado “Wenus” é uma boa escolha, apresentando este, em termos de custo, um montante de 2,30 vezes maior, mas uma massa 1,84 vezes menor à solução tradicional de alvenaria de tijolo.

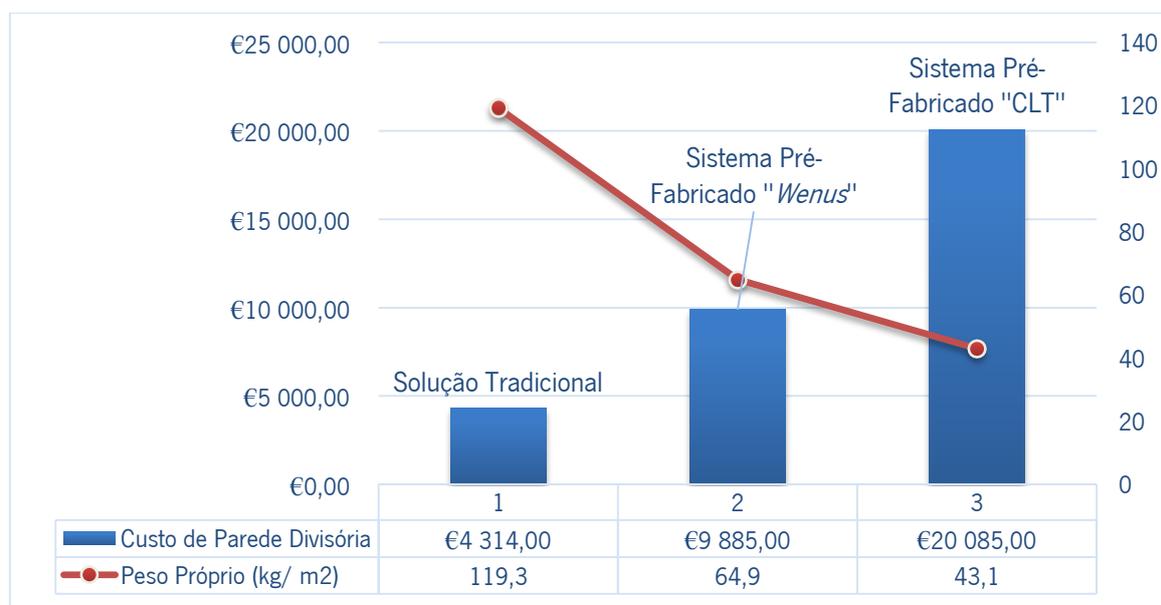


Gráfico 5 – Comparativo dos custos e peso próprio das soluções para paredes divisórias interiores

Relativamente ao isolamento térmico e acústico (gráfico 6), o sistema tradicional de alvenaria de tijolo é o que apresenta piores resultados. Em contrapartida, o sistema pré-fabricado de madeira “Wenus” revela-se como o termicamente mais eficiente e o “CLT” acusticamente melhor. No entanto, uma vez que se trata de uma parede divisória interior não existe a necessidade de utilizar um isolamento térmico tão eficiente e sim um isolamento acústico eficaz. Assim, destaca-se o sistema pré-fabricado “CLT” como o mais adequado a aplicar nesta situação, embora, de uma forma global, o sistema pré-fabricado “Wenus” é o que reúne as melhores condições em termos de isolamento, mesmo tendo um preço superior à solução tradicional de alvenaria de tijolo.

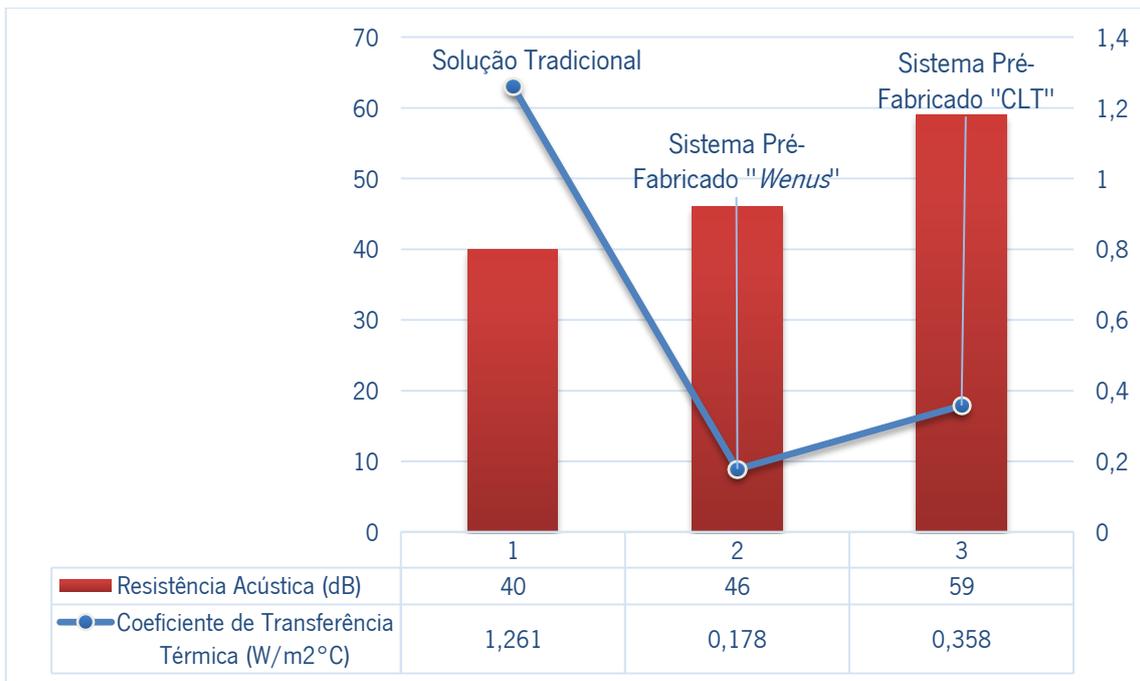


Gráfico 6 – Comparativo entre a resistência acústica e térmica das soluções para paredes divisória interiores

Portanto, em termos de sistemas construtivos para a execução de paredes divisórias interiores, o sistema pré-fabricado com melhores resultados é o “Wenus”.

Na análise dos resultados obtidos no âmbito das coberturas (gráfico 7), a percepção quanto ao rendimento de trabalhos é abismal, sendo os sistemas pré-fabricados bastante mais proveitosos que o sistema tradicional. O sistema pré-fabricado “Véga” representa uma diferença de 13,33 vezes inferior e o sistema “CLT” 10 vezes inferior.

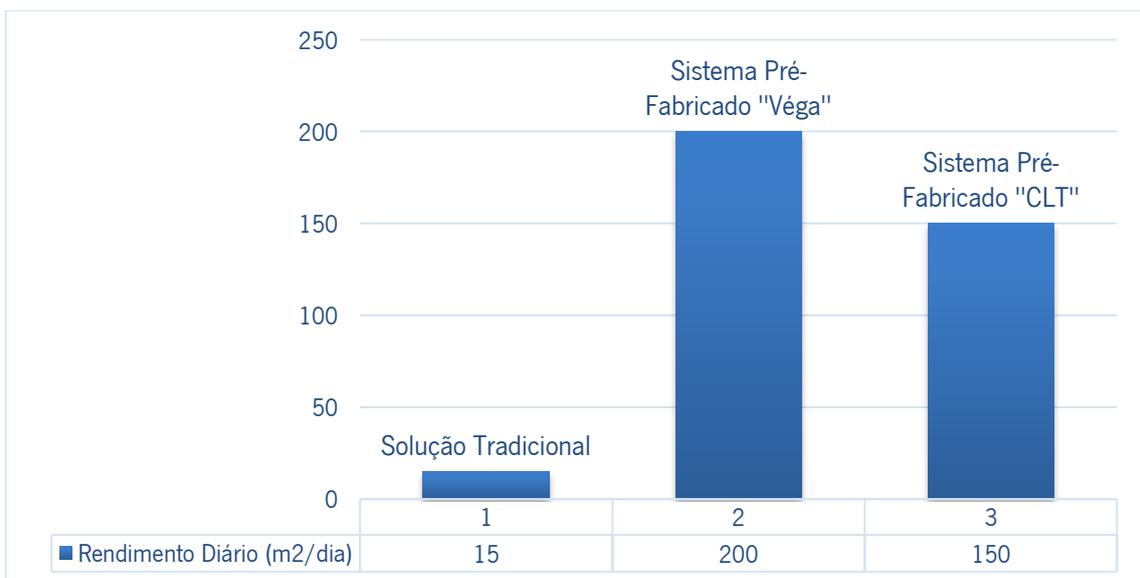


Gráfico 7 – Comparativo do rendimento diário das soluções para coberturas

No custo da execução de cobertura e do peso da mesma (gráfico 8), o sistema tradicional revela-se, novamente, mais baixo, apesar de apresentar maior massa associada. Em termos de preço e face à solução de cobertura tradicional, o sistema pré-fabricado “Véga” e o “CLT” apresentam, respetivamente, um valor de 5276,33€ e 4139,15€ superior. Comparando também os dois tipos de sistemas construtivos em relação ao peso próprio, o sistema “Véga” apresenta cerca de 4,13 vezes menor massa e o “CLT” 4,68 vezes inferior. Nesta análise, constata-se que o sistema pré-fabricado de madeira “CLT” é o que apresenta o melhor conjunto de resultados.

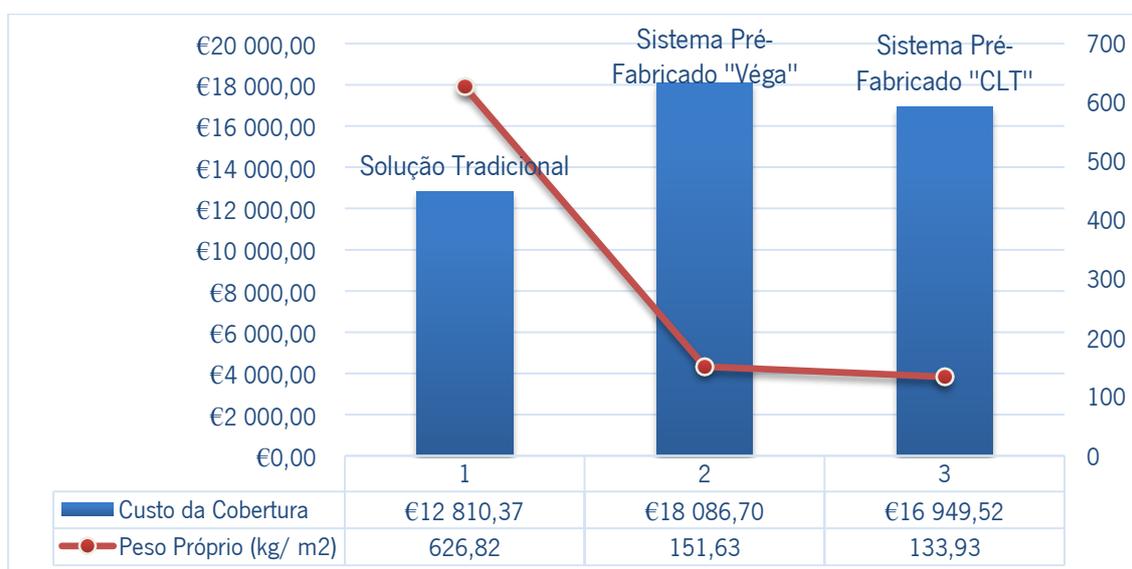


Gráfico 8 – Comparativo entre os custos e o peso próprio das soluções para coberturas

No que concerne ao isolamento térmico e acústico (gráfico 9), a solução tradicional, mais uma vez, expõe os piores valores, ao invés dos sistemas pré-fabricados de madeira, em que o “Véga” indica ser o mais eficiente termicamente e o “CLT” a nível acústico. No entanto, como é importante apresentar ambos os isolamentos, a opção mais vantajosa neste comparativo é o sistema “Véga”.

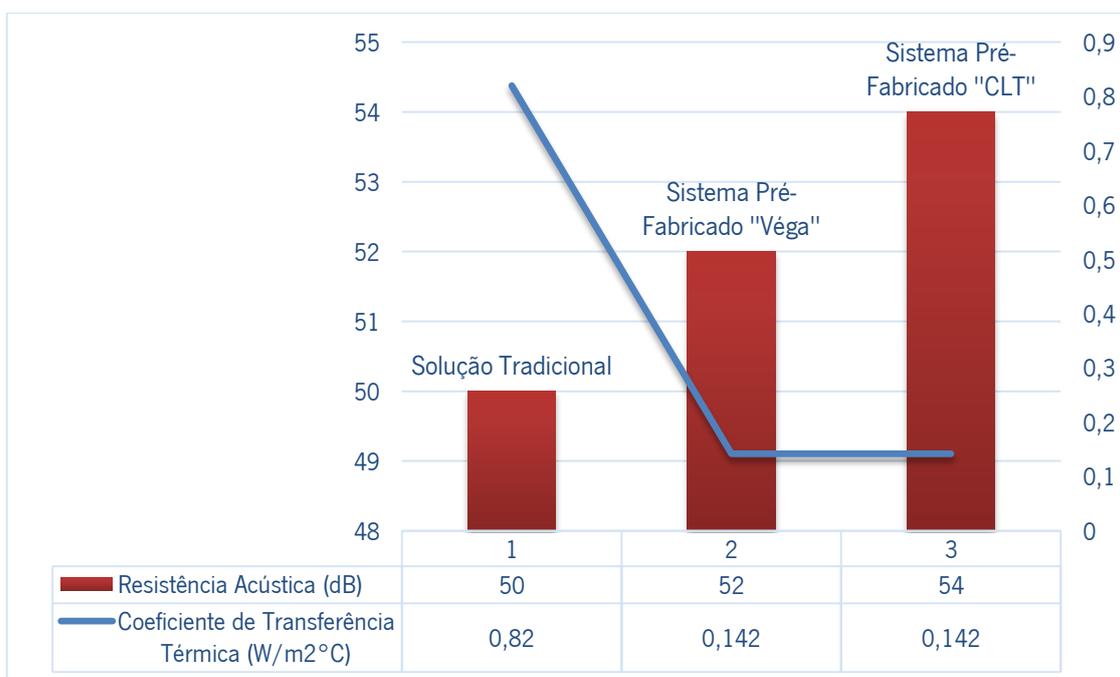


Gráfico 9 – Comparativo entre a resistência acústica e térmica das soluções para coberturas

Resumindo, em termos de sistemas construtivos para a execução de coberturas, o “CLT” é o sistema pré-fabricado mais vantajoso. Este sistema apoia-se nas paredes de alvenaria de pedra ficando visível a olho nu, contrariamente ao sistema de cobertura tradicional que necessita de uma laje para ser executado.

De modo a sintetizar os resultados obtidos dos dois tipos de sistemas construtivos, é necessário a normalização de dados devido aos diferentes valores e dimensões dos mesmos (ver tabelas sequentes). Neste sentido, seguem-se, abaixo, três gráficos do tipo radar (gráfico 10, 11 e 12), que possibilitam a execução de comparações de modo equivalente e, assim, uma conclusão mais fidedigna do sistema de madeira que possui as melhores características no âmbito da reabilitação.

Tabela 68 – Conjunto de Dados para Lajes de Pavimento

		Custo (€)	Peso Próprio (Kg/m ²)	Coef. Transferência Térmica (W/m ² .°C)	Rendimento Diário (m ² /dia)	Isolamento Acústico (dB)
Lajes	Laje Aligeirada	13045,96	416,5	1,040	100	47
	Sistema "O'Portune"	15406,93	114,9	0,329	500	56
	Sistema "Wenus"	13495,48	75,7	0,414	400	54
	Sistema "CLT"	16539,20	54,25	0,368	200	52

Tabela 69 - Normalização de Dados para Lajes

Lajes		Custo	Peso Próprio	Coef. Transferência Térmica	Rendimento Diário	Isolamento Acústico
	Laje Aligeirada	0,79	1,00	1,00	0,20	0,84
	Sistema "O'Portune"	0,93	0,28	0,32	1,00	1,00
	Sistema "Wenus"	0,82	0,18	0,40	0,80	0,96
	Sistema "CLT"	1,00	0,13	0,35	0,40	0,93

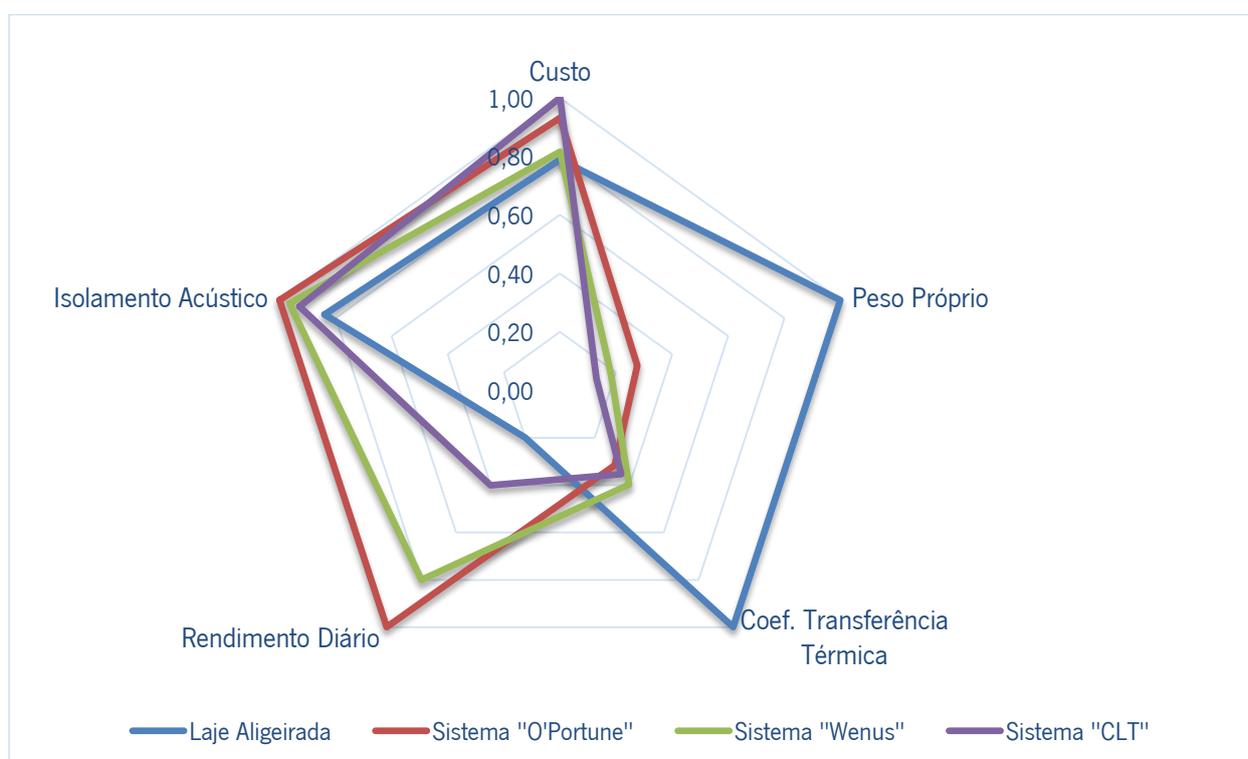


Gráfico 10 – Gráfico resumo das potencialidades dos sistemas pré-fabricados para laje

A análise do gráfico 10 permite concluir que o sistema pré-fabricado "O'Portune" se distingue dos restantes, no que concerne ao isolamento térmico, acústico e rendimento diário. No entanto, e apesar de ser o sistema pré-fabricado mais pesado e dispendioso comparativamente ao "Wenus", os restantes fatores prevalecem a estes tornando o sistema "O'Portune" o mais aconselhável a utilizar para a execução da laje.

Tabela 70 – Conjunto de Dados para a Parede Interior

Paredes Divisórias Interiores		Custo (€)	Peso Próprio (Kg/m ²)	Coef. Transferência Térmica (W/m ² .°C)	Rendimento Diário (m ² /dia)	Isolamento Acústico (dB)
	Parede Tradicional	4314,00	119,3	1,261	40	40
	Sistema "Wenus"	9885,00	64,9	0,178	250	46
	Sistema "CLT"	20085,00	43,1	0,358	200	59

Tabela 71 - Normalização de Dados para Paredes

Paredes Divisórias Interiores		Custo	Peso Próprio	Coef. Transferência Térmica	Rendimento Diário	Isolamento Acústico
	Parede Tradicional	0,21	1,00	1,00	0,16	0,68
	Sistema "Wenus"	0,49	0,54	0,14	1,00	0,78
	Sistema "CLT"	1,00	0,36	0,28	0,80	1,00

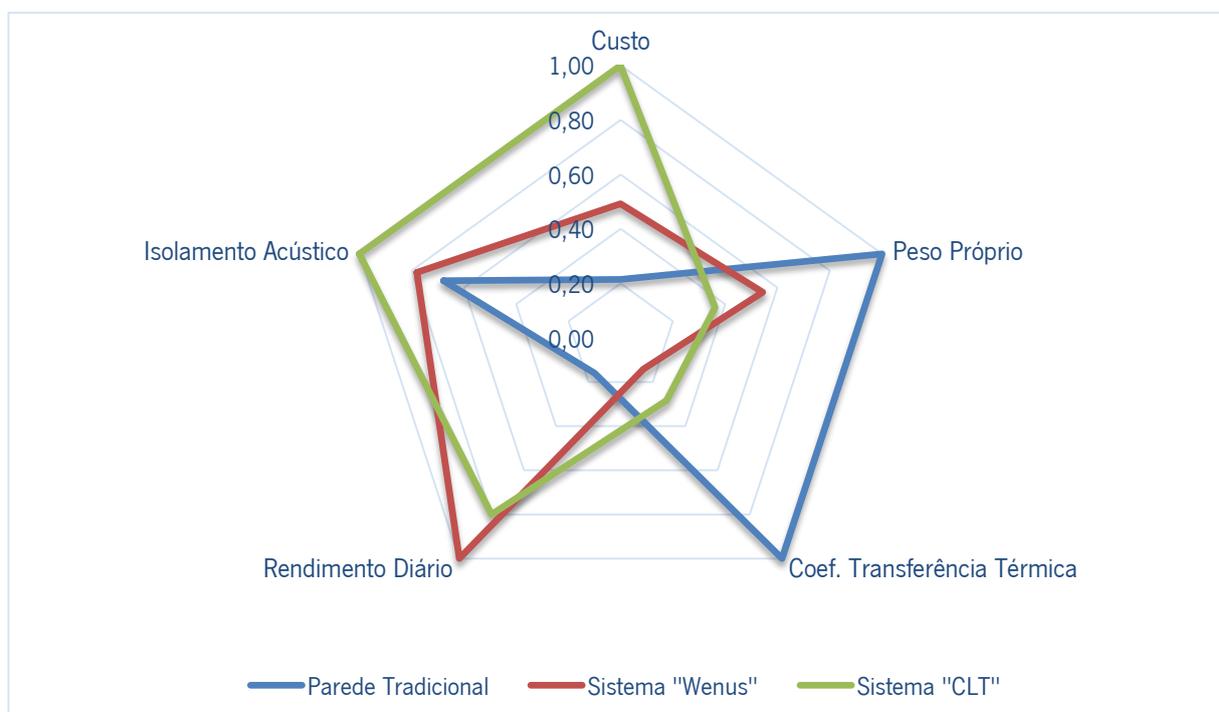


Gráfico 11 – Gráfico resumo das potencialidades dos sistemas pré-fabricados para parede

Através da análise ao gráfico 11, pode-se concluir que o sistema pré-fabricado “*Wenus*” possui os melhores valores a nível de isolamento térmico e rendimento diário. Porém, o sistema pré-fabricado “CLT” consegue ótimos resultados quanto ao peso e isolamento acústico e valores satisfatórios no que toca ao rendimento diário e isolamento térmico. Todavia, o custo de execução do sistema pré-fabricado “CLT” é bastante dispendioso, tornando o sistema pré-fabricado “*Wenus*” a melhor solução na execução da parede divisória interior.

Além das vantagens e potencialidades já evidenciadas na análise dos gráficos, existem outros fatores que tornam o sistema pré-fabricado “*O’Portune*” como uma boa solução para lajes e o sistema pré-fabricado “*Wenus*” para paredes. Tal, deriva do facto de ambos possibilitarem a integração de instalações técnicas nas cavidades vazias, o que na solução tradicional implica a abertura de roços, um custo adicional para realizar a operação, bem como a produção de resíduos. Um outro aspeto que deve ser alvo de atenção é que os sistemas pré-fabricados de madeira possuem uma resistência ao fogo igual ou melhor que as soluções tradicionais.

Tabela 72 – Conjunto de Dados para as Coberturas

		Custo (€)	Peso Próprio (Kg/m²)	Coef. Transferência Térmica (W/m².°C)	Rendimento Diário (m²/dia)	Isolamento Acústico (dB)
Coberturas	Cobertura Tradicional	12810,37	626,82	0,820	15	50
	Sistema "Véga"	18086,77	151,63	0,142	200	52
	Sistema "CLT"	16949,52	133,93	0,142	150	54

Tabela 73 – Normalização de Dados para Coberturas

		Custo	Peso Próprio	Coef. Transferência Térmica	Rendimento Diário	Isolamento Acústico
Coberturas	Cobertura Tradicional	0,71	1,00	1,00	0,08	0,93
	Sistema "Véga"	1,00	0,24	0,17	1,00	0,96
	Sistema "CLT"	0,94	0,21	0,17	0,75	1,00

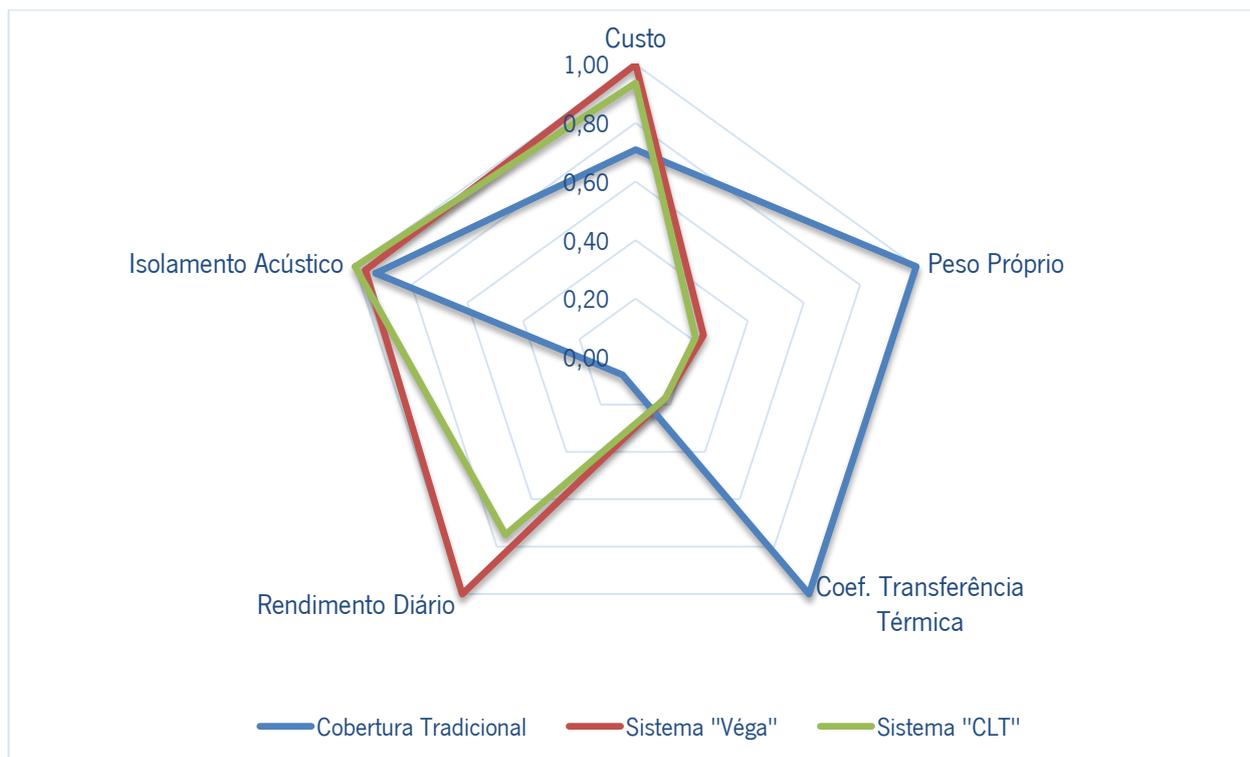


Gráfico 12 – Gráfico resumo das potencialidades dos sistemas pré-fabricados para cobertura

Analisando o gráfico 12, observa-se que os sistemas pré-fabricados "Véga" e "CLT" apresentam valores bastante satisfatórios e próximos, tornando-se duas excelentes soluções a utilizar. Contudo, e apesar do "CLT" exibir um rendimento diário ligeiramente mais baixo, os restantes fatores fazem dele a solução mais vantajosa.

Posto isto, procedeu-se então à criação de três quadros resumo (consultar quadros 1, 2 e 3 exibidos em baixo), que constituem um guia de recomendações para ações de reabilitação, permitindo, deste modo, uma melhor perceção das potencialidades dos sistemas pré-fabricados de madeira para lajes, paredes e coberturas.

O guia criado baseia-se em pesquisas extensivas, fichas técnicas dos produtos, empresas criadoras e aplicadoras dos diversos sistemas pré-fabricados e visa, essencialmente, munir o utilizador de informações relevantes e tributos técnicos dos materiais, de uma forma prática e fácil. Compreende componentes como o vão livre, peso próprio, carga permitida, resistência ao fogo, preço e rendimento de montagem, dado a relevância dos mesmos quando se equaciona a aplicação destes sistemas. Assim, tendo em consideração estes elementos e todas as constatações até aqui realizadas, possibilita-se uma tomada de decisão mais acertada no âmbito da reabilitação e no emprego dos sistemas pré-fabricados de madeira.

Quadro 1 – Guia de recomendações para Lajes de Pavimento em Soluções Pré-Fabricadas de Madeira

		LAGES			
		CLT	O'Portune	Wenus	Kielsteg
Vão Livre		8 – 24 m	8 – 12 m	4 – 8 m	4,8 – 9,6 m
Secção Placas		1,25 – 3,50/ 0,04 – 0,50 m	40/175 – 60/240 mm	35/180 – 60/240 mm	120/ 22,80 - 80 cm
Peso Próprio		470 kg/m ³	80 – 120 kg/m ²	30 – 50 kg/m ²	19 – 36 kg/m ²
Carga		≥ 75 kg/m ²	300 – 1000 kg/m ²	≥ 250 kg/m ²	300 – 800 kg/m ²
Resistência ao Fogo		30 – 90 min	30 – 120 min	30 – 90 min	30 – 60 min
Armazenamento de CO ₂		-	100 – 200 kg/m ²	60 – 100 kg/m ²	-
Consumo de Madeira		-	0,15 – 0,24 m ³ /m ²	< 0,10 m ³ /m ²	-
Preço		43 – 70 €/m ²	80 – 120 €/m ²	45 – 70 €/m ²	-
Rendimento Montagem		200 m ² /dia	500 m ² /dia	400 m ² /dia	-
Rótulo Ecológico		FSC; PEFC; Q+	FSC; PEFC; Q+	FSC; PEFC; Q+	FSC; PEFC; Q+

Quadro 2 – Guia de recomendações para Paredes Interiores em Soluções Pré-Fabricadas de Madeira

PAREDES	
CLT	Wenus
	
Vão Livre	8 – 24 m
Secção Placas	Até 1,25 – 3,50/ 0,04 – 0,50 m
Peso Próprio	470 kg/m ³
Carga	≥ 75 kg/m ²
Resistência ao Fogo	30 – 90 min
Armazenamento de CO ₂	-
Consumo de Madeira	-
Preço	43 – 70 €/m ²
Rendimento Montagem	200 m ² /dia
Rótulo Ecológico	FSC; PEFC; Q+
	8 – 10 m
	35/180 mm – 60/240 mm
	30 – 50 kg/m ²
	≥ 250 kg/m ²
	30 – 90 min
	60 – 100 kg/m ²
	< 0,10 m ² /m ²
	30 – 45 €/m ²
	250 m ² /dia
	FSC; PEFC; Q+

Quadro 3 – Guia de recomendações para Coberturas em Soluções Pré-Fabricadas de Madeira

	COBERTURAS		
	Véga	Kielsteg	CLT
Vão Livre	5 – 16 m	6,8 – 30 m	8 – 24 m
Secção Placas	50/ 100 – 60/ 120 mm	Largura: 120cm; Altura: 22,80 a 80 cm	Até 1,25 – 3,50/ 0,04 – 0,50 m
Peso Próprio	30 – 60 kg/m ²	19 – 36 kg/m ²	470 kg/m ²
Carga	≥ 200 kg/m ²	100 – 600 kg/m ²	≥ 77 kg/m ²
Resistência ao Fogo	30 – 60 min	30 – 60 min	30 – 90 min
Armazenamento de CO₂	50 – 100 kg/m ²	-	-
Consumo de Madeira	10 – 15 m ³ /m ²	-	-
Preço	80 €/m ²	-	43 – 70 €/m ²
Rendimento Montagem	200 – 400 m ² /dia	-	150 m ² /dia
Rótulo Ecológico	FSC; PEFC; Q+	FSC; PEFC; Q+	FSC; PEFC; Q+

5. CONCLUSÃO

Num passado recente, a indústria associada à madeira emergiu como uma solução construtiva viável, suportada pelas crescentes preocupações ambientais, por recentes processos tecnológicos e pelo desenvolvimento de novos produtos derivados da madeira, criados para eliminar defeitos (suprimir nós, fissuras existentes) e aperfeiçoar as propriedades da madeira (estruturais e físicas) consoante o objetivo da sua aplicação.

Aliada a estes fatores, destacou-se a preservação do parque construído com notória importância pois, tal como Gonçalves (2012) evidenciou, a reabilitação sustentável representa uma forma rápida e eficaz de resolver parte dos problemas existentes no edificado, tendo em consideração as atuais exigências quanto ao desempenho ambiental, económico e social.

Refletindo ainda sobre o conceito de sustentabilidade, Coelho (2013) comprovou ser vantajoso a utilização de produtos de madeira em prol dos correntemente em uso no setor da construção, não só pelas inúmeras vantagens associadas a este tipo de elementos, mas também por a madeira ser um material natural e completamente renovável, conseguindo responder satisfatoriamente às variações térmicas e, por isso, comprovando ser, não só, um excelente isolador térmico, como um ótimo isolador acústico e elétrico.

Assim, a par de uma ação cada vez mais sentida nas áreas da investigação, do ensino e da formação relativamente à prática de uma reabilitação sustentável, a concretização deste trabalho apresenta-se no sentido de fomentar a aplicação de elementos pré-fabricados de madeira no contexto da reabilitação, pela divulgação de algumas das suas potencialidades, o que foi conseguido através da elaboração de um guia de recomendações para ações de reabilitação, utilizando elementos pré-fabricados à base de madeira para três soluções construtivas: lajes, paredes e coberturas.

Os resultados obtidos demonstram que os sistemas pré-fabricados apresentam valores jamais conseguidos comparativamente aos sistemas tradicionais. Um outro estudo manifesta conclusões no mesmo sentido, atribuindo aos elementos pré-fabricados vantagens objetivas, como a competitividade de custos ou mais-valias ambientais, e vantagens subjetivas, como a estética e a integração com o meio envolvente (Gonçalves, 2012). Sugerem, inclusive, Coelho, Branco & Lourenço (2013), que a “Prefabrication is actually an effective process on the improvement of the environmental performance of construction works, as well as on the promotion of self-construction”.

As elações retiradas da análise anteriormente realizada vão de encontro a estes e outros estudos efetuados no mesmo âmbito, ao revelarem que as soluções de lajes, paredes e coberturas em sistemas pré-fabricados de

madeira têm um excelente desempenho a nível ambiental e económico (tendo em conta os parâmetros abordados e que se consideram como sendo suficientemente representativos).

Conclui-se, assim, que o edifício em estudo, pelas dimensões e estado de conservação que apresenta, bem como pelas características relativas à dimensão do vão, facilidade de ligação dos elementos pré-fabricados às paredes através de ligações metálicas, ou de outro tipo, e peso associado a cada sistema, permite a aplicação dos sistemas pré-fabricados de madeira sem que exista problemas quanto à descarga das forças nas paredes de alvenaria de pedra.

Tal facto pode levar à extrapolação dos dados obtidos para outros contextos pois, apesar do edifício abordado, e todos os outros da cidade do Porto datados em século XIX, apresentar elevado grau de padronização (caraterística predominante dos sistemas pré-fabricados), e este estudo se circunscrever à vertente da reabilitação, a qual preconiza a preservação do edificado a nível estrutural e arquitetónico, a utilização destes elementos na construção nova seria mais simples uma vez que não teria que corresponder a tais requisitos, no fundo exigentes e limitativos.

No entanto, seria bastante interessante o desenvolvimento de estudos futuros neste sentido, quer pela aplicabilidade prática destes elementos no âmbito da reabilitação, crucial para sustentar este estudo, como também pelo seu emprego noutros contextos, investigando-se o desempenho destes elementos a vários níveis (por exemplo: ambiental, económico e social), desencadeando, deste modo, maior credibilidade científica.

Embora o passo dado tenha sido pequeno, com este trabalho conseguiu-se a produção de conhecimento acerca dos elementos pré-fabricados de madeira, contribuindo, neste sendo, para uma tomada de decisão mais assertiva quanto à escolha da aplicação destes elementos.

Como desfecho final, uma vez que os sistemas pré-fabricados oferecem benefícios na padronização, qualidade e racionalização tanto a nível de materiais, desperdícios e área de estaleiro, como também otimização da mão-de-obra especializada e equipamentos, redução de prazos e conseqüente redução do preço, representam, nos dias de hoje, uma mais-valia no âmbito da reabilitação sustentável e na melhoria das práticas na área da construção civil.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amorim, J. (2006). *Madeira na construção – o futuro promete*. Conferência “Semana das Engenharias” na Escola de Tecnologia e Gestão do IPB, Bragança.

Appleton, J. (2003). *Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e tecnologias de Intervenção*. Amadora: Edições Orion.

Arquiteto Rui Rosmaninho (2013). *Madeira de Pinho – Características de utilização*. Depoimento. (pp.10). UTAD, Vila Real.

Barreal, J. (1998). *Patología de la madera*, Coedición – Fundación Conde Del Valle de Salazar. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Barroso, L. (2006). *Construções em madeira e a sua contribuição para a construção sustentável*. ISEP, Porto.

Bragança, L., & Mateus, R. (2006). *Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção*. Porto: Edições Ecopy.

Brundtland (1987). *O Nosso Futuro Comum – Relatório de Brundtland*. Nações Unidas: Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento.

Cachim, P. (2007). *Construções em madeira – A madeira como material de construção*. Porto: Publindústria.

Castells, S., & Laperal, E. (2011). *Prefabricación en rehabilitación: el panel de madeira contralaminada en el edificio de Ca la Dona*. CIMAD 11. Coimbra: 1º Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção.

CBS-CBT. (2005). *Slabs and Structure Product*. Acedido em 3, junho, 2014, em http://www.cbs-cbt.com/new_site/EN/HomePage.htm

Coelho, A. (2013). *A Sustentabilidade do Uso da Madeira na Construção*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães.

Coelho, A., Branco, J., & Lourenço, P. (2013). *Sustainable design of prefabricated solutions for the rehabilitation of ancient buildings*. Universidade do Minho, Guimarães.

Cóias, V. (2007). *Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos*. Lisboa: Editora Argumentum.

Coutinho, J. (1999). *Materiais de construção I: Madeiras*. FEUP, Porto.

Cruz, H. (2007). *Estruturas de Madeira lamelada colada em Portugal*. Instrumentos para a garantia da Qualidade. RPEE, Série II, n.º1.

Cruz, P., Negrão, J., & Branco, J. (2004). *A Madeira na Construção*. CIMAD 04 – 1º Congresso Ibérico sobre a Madeira na Construção. Guimarães.

Direção Nacional de Gestão Florestal (2010). *5º Inventário Florestal Nacional 2005-2006*. Autoridade Florestal Nacional. Portugal.

EN 14279: *Laminated Veneer Lumber – Definitions, classification and specifications*.

EN 1995. *Eurocódigo 5 - Projeto de estruturas de madeira*.

EN 309:1992. *Particleboards. Definition and classification*.

EN 335-2:2006. *Durability of wood and wood-based products. Definition of use classes. Application to solid wood*.

EN 386:1995. *Glued laminated timber. Performance requirements and minimum production requirements*.

EN 599-1:1997. *Durability of wood and wood-based products - Efficacy of preventive wood preservatives as determined by biological tests. Specification according to use class*.

EN 633:1993. *Cement-Bonded Particleboards. Definition and Classification*.

Ferreira, F. (2014). *As estruturas tradicionais de madeira antes e agora - Análise de alguns exemplos de recuperação*. Seminário – Intervir em construções existentes de madeira. Universidade do Minho, Guimarães.

Gonçalves, L. (2012). *Projeto de estruturas em Madeira Lamelada Colada*. Dissertação de Mestrado, IST, Lisboa.

Gonçalves, R. (2012). *A Reabilitação face à Sustentabilidade – Casa Burguesa do Porto*. Dissertação de Mestrado, Universidade Lusófona, Porto.

International Institute for Environment and Development (2004). *Using wood products to mitigate climate change*. London: ECCM.

Inventário Florestal Nacional, IFN. (2010). *Áreas dos Usos do Solo e das Espécies Florestais Continental*. Resultados preliminares. [pdf] Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa.

Jalali, S., & Torgal, P. (2008). *Tendências para a sustentabilidade dos materiais de construção*. Lisboa: Engenharia e vida, 56-59.

Jerónimo, R. (2009). *Construção em Madeira: Exigências para a Certificação Energética*. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro.

Lipor. (2014). *Agenda 21 Local*. Acedido em 10, junho 2014, em <http://www.lipor.pt/pt/sustentabilidade-e-responsabilidade-social/projetos-de-sustentabilidade/agenda-21-local/agenda-21-local/>

Lipor. (2014). *Agenda 21*. Acedido em 10, junho, 2014, em <http://www.lipor.pt/pt/sustentabilidade-e-responsabilidade-social/projetos-de-sustentabilidade/agenda-21-local/agenda-21/>

Lourenço, P., Branco, J., & Sousa, H. (2014). *Seminário – Intervir em construções existentes de madeira* (Compilação dos trabalhos apresentados). Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães.

Loza, R. (2005). *O papel das SRU na revitalização das cidades portuguesas*. Alguns tópicos para reflexão. Acedido em 31, Agosto, 2014, em <http://www.portovivosru.pt/pdfs/papeldassru.pdf>.

Machado, J. (2005). *Placas de derivados de madeira*. LNEC, Lisboa.

Marques, L. (2008). *O papel da madeira na sustentabilidade da construção*. Dissertação de Mestrado, FEUP, Porto.

Martins, J., & Vieira, A. (2004). *Materiais de construção: Derivados de madeira*. Sebenta de Materiais I, UFP, Porto.

Martins, T. (2010). *Dimensionamento de Estruturas em Madeira: Coberturas e Pavimentos*. Dissertação de Mestrado, IST, Lisboa.

Milhazes, F. (2010). *O reflexo da contemporaneidade na reabilitação do edificado corrente portuense*. Três temas de intervenção: estacionamento; circulações verticais; zonas de serviço. Estudo de casos integrados em propostas de reabilitação arquitetónica. Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, Porto.

Negrão, J. (2011). *Estruturas de madeira em Portugal – Presente e passado recente*. CIMAD 11 – 1.º Congresso Ibero-Latino Americano sobre a Madeira na Construção. P-T15-4. Coimbra.

NP EN 1194:2002. *Estruturas de madeira. Madeira lamelada-colada. Classes de resistência e determinação dos valores característicos*.

NP EN 300:2002. *Aglomerados de partículas de madeira longas e orientadas (OSB). Definições, classificação e especificações*.

NP EN 315:2001. *Contraplacado. Tolerâncias dimensionais*.

NP EN 316:2001. *Aglomerados de fibras de madeira. Definição, classificação e símbolos*.

- Nunes, L., & Cruz, H. (s.d.). *A madeira como material de construção*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Apontamentos do Mestrado de Reabilitação da UTL, Lisboa.
- Pequeno, J., & Cruz, P. (2009). *Timber-glass composite structural panels: Tectonics, sustainability & integrated energetic solutions*. Glass performance days. Universidade do Minho, Guimarães.
- Petrucci, E. (1975). *Materiais de Construção* (9.ª ed.). Brasil: Globo.
- Poletti, E., Vasconcelos, G., & Lourenço, P. (2014). *Edifícios Pombalinos: Comportamento e reforço*. Seminário – Intervir em construções existentes de madeira. Universidade do Minho, Guimarães.
- Porto Vivo - Sociedade de Reabilitação Urbana. (2007). *Unidade de Intervenção do Quarteirão das Cardosas - Projecto Base de documento estratégico* (Vol. 1). Porto.
- Sampaio, J. (1975). *Apontamentos das aulas teóricas de Materiais de Construção*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Silva, M., Dias, A., & Lousada, J. (2013). *Madeira de Pinho – Características de utilização*. Tipografia Lessa, Maia, ISBN 978-989-704-116-7.
- Teixeira, J. (2004). *Descrição do sistema construtivo das Casas Burguesas do Porto entre os séculos XVII e XIX. Contributo para uma história da construção arquitetónica em Portugal*. Trabalho de Síntese elaborado no âmbito das Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, Porto.
- Torres, J. (2010). *Sistemas construtivos modernos em madeira*. FEUP, Porto.
- Uriartt, A. (1992). *A madeira como material de construção*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora.
- Yin, R. (1994). *Case Study Research: Design and Methods* (2ª ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Zenid, G., et al. (2009). *Madeira – Uso Sustentável na Construção Civil* (2ª ed.). São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

ANEXOS

ANEXO I – PLANTA DO EDIFÍCIO ESTUDO DE CASO FORNECIDA PELA EQUIPA DE PROJETO

ANEXO II – CORTE DO EDIFÍCIO ESTUDO DE CASO FORNECIDO PELA EQUIPA DE PROJETO

ANEXO III – ALÇADO DO EDIFÍCIO ESTUDO DE CASO FORNECIDO PELA EQUIPA DE PROJETO

