

# **SISTEMAS CONSTRUTIVOS MODERNOS EM MADEIRA**

**JOÃO TIAGO CARIDADE TORRES**

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

---

Orientador: Professor Doutor José Manuel Marques Amorim de  
Araújo Faria

JULHO DE 2010

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

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

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

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

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.*

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

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

Aos meus Pais



## **AGRADECIMENTOS**

Terminada esta dissertação é peremptório referir algumas pessoas que foram determinantes durante todo o processo e que permitiram a realização deste trabalho.

Aos meus pais pelos valores que me transmitiram e pela oportunidade e liberdade de traçar o meu próprio caminho. À minha família, o meu obrigado por todo o apoio e carinho dado ao longo do meu percurso académico, em especial ao Arquitecto João Torres, meu primo, e ao meu tio Eduardo Ribeiro, pelo apoio, paciência e pelos conhecimentos que me transmitiram de forma a enriquecer esta obra.

Aos meus amigos, por toda a motivação e companheirismo demonstrado nos 5 anos em que crescemos juntos, em especial ao Ricardo Monteiro, Rúben Guedes e Daniel Amado, pela disponibilidade e apoio na execução deste trabalho.

À minha namorada, Inês Madureira, pelos profundos conhecimentos de português, dedicação e imensa paciência demonstrada nos momentos mais difíceis.

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

A todos, o meu sincero obrigado.



## **RESUMO**

A madeira, como material, teve sempre uma grande importância para o Homem. Em qualquer lugar do mundo, onde existisse material orgânico disponível, um novo tipo de habitação era inventado.

Durante séculos, a madeira manteve o seu estatuto como um dos materiais principais na construção de edifícios até ao início do século XX, em que emerge o betão armado apoiado no reconhecimento das suas propriedades, criação de bases de cálculo e no desenvolvimento industrial.

A construção em madeira associada à habitação continuou, no entanto a ser uma solução muito adoptada nos Estados Unidos da América, Norte da Europa e Japão. Actualmente, esta indústria encontra-se em expansão, surgindo renovada e apoiada nas crescentes preocupações ambientais e noções de sustentabilidade, nas novas técnicas de construção emergentes e na criação de novos materiais à base de madeira que alargaram o âmbito de aplicação desta indústria.

Esta dissertação tem como objectivo apresentar e analisar as novas metodologias de construção em madeira, procurando desmistificar as afirmações que levaram ao seu declínio.

Nesse sentido, serão apresentadas de uma forma geral as tipologias de habitação em madeira mais comuns sendo focadas as construções prefabricadas em madeira ou derivados da madeira que utilizam modulação. Serão dados exemplos representativos do tipo de casas prefabricadas utilizadas no mercado nacional e internacional recorrendo a uma caracterização das soluções mais comuns e o seu âmbito de aplicação.

Numa fase posterior do trabalho é apresentado o projecto de uma habitação unifamiliar com dois pisos sendo apresentadas as principais características e bases de concepção se for adoptada uma construção prefabricada em madeira ou uma construção em betão armado e alvenaria de tijolo (casas em alvenaria).

Para avaliar a viabilidade dos novos sistemas foi realizada uma análise técnico-económica comparativa da performance de uma construção prefabricada em madeira e outra em betão e alvenaria de tijolo. A análise técnica foi realizada segundo exigências de estabilidade, habitabilidade e exigências de durabilidade. Paralelamente, foi feita uma pesquisa de mercado para obtenção de preços dos sistemas construtivos em estudo e realizada a análise económica para avaliar a competitividade das novas soluções. Todas as conclusões obtidas neste trabalho são apresentadas no último capítulo denominado Conclusões.

Em anexo são apresentados quadros com as principais características dos materiais utilizados nos sistemas prefabricados em análise.

**PALAVRAS-CHAVE:** Casas prefabricadas em madeira, Sustentabilidade, Modulação, Casas em alvenaria, Análise técnico-económica.



## **ABSTRACT**

Wood, as a material, has always had a great deal for Man. Anywhere in the world, wherever there was organic material available, a new kind of housing was invented.

For centuries, wood has retained its status as one of the main materials in building construction until the beginning of the twentieth century in which concrete emerges supported in the recognition of their properties, new created calculation bases and the industrial development.

The wooden construction related to housing has nevertheless remained to be a much adopted solution in the United States of America, Northern Europe and Japan. Nowadays, this industry is growing, emerging refreshed and supported by the growing environmental concerns and notions of sustainability, in the new emerging construction techniques and the creation of new wood-based materials which broadened the scope of this industry.

This dissertation aims to present and analyze new methods of wooden construction, while trying to demystify the claims that led to its decline.

Therefore, it will be presented in a general way the most common wood housing types focusing in the prefabricated constructed houses using wood or wood-based materials and modulation. There will be presented representative examples of the prefabricated houses used in domestic and international markets through a characterization of the most common solutions and its scope.

In an advanced stage of the work it's shown the design of a two floor house presenting the key features and bases when adopted a prefabricated wooden building or another in reinforced concrete and brick masonry (Masonry Houses).

To analyse the feasibility of the new systems it was carried out a technical and economical evaluation by comparing the performances of a prefabricated wooden building and a masonry house. The technical evaluation was performed according to requirements of stability, liveability and durability. At the same time, it was performed a market survey to obtain prices of the building systems in study and then performed an economical evaluation of the competitiveness of new solutions. All findings through the dissertation are presented in the last chapter called Conclusion.

In annex are provided tables containing the main characteristics of the materials used in the prefabricated systems under consideration.

**KEYWORDS:** Prefabricated wooden houses, Sustainability, Modulation, Masonry houses, Technical and economical evaluation.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. OBJECTO DE ESTUDO .....	1
1.2. BASES DO TRABALHO DESENVOLVIDO .....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	2
<b>2. EVOLUÇÃO DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA</b> .....	3
2.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO .....	3
2.2. TIPOS DE CONSTRUÇÕES EM MADEIRA .....	7
2.2.1. CASAS DE TRONCOS – “LOGHOMES” .....	7
2.2.2. CASAS COM ESTRUTURAS EM MADEIRA PESADA – “HEAVY TIMBER” .....	8
2.2.3. CASAS COM ESTRUTURA EM MADEIRA LEVE – “LIGHT FRAMING” .....	10
2.2.4. CASAS COM ESTRUTURA PREFABRICADA .....	13
<b>3. MADEIRA MACIÇA E DERIVADOS</b> .....	17
3.1. MATERIAIS E SOLUÇÕES .....	17
3.2. MADEIRA MACIÇA .....	17
3.3. DERIVADOS DA MADEIRA .....	22
3.3.1. CONTRAPLACADO .....	23
3.3.2. CONTRAPLACADO LAMELADO .....	23
3.3.3. AGLOMERADO DE FIBRAS DE MÉDIA DENSIDADE (MDF) .....	24
3.3.4. AGLOMERADO DE PARTÍCULAS LONGAS E ORIENTADAS (OSB) .....	24
3.3.5. AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS .....	25
3.3.6. CARTÃO PENSADO (PLATEX) .....	26
3.3.7. LVL – “LAMINATED VENEER LUMBER” .....	26
3.3.8. MADEIRA LAMELADA COLADA .....	27

<b>4. SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO PREFABRICADOS EM MÓDULOS DE MADEIRA</b> .....	31
4.1. INTRODUÇÃO .....	31
4.2. AGEPAN – SONAE SIERRA .....	31
4.3. TREEHOUSE - JULAR .....	33
4.4. KLH - TISEM .....	38
4.5. LAPPONIA HOUSE – SPRING CONSTRUÇÕES, LDA .....	42
4.6. ILEVEL™ TRUS JOIST® - GRUPO ICO .....	46
4.7. MODULAR SYSTEM – ARQUIPORTO E GEOINVESTIMENTOS .....	48
4.8. SISTEMA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADO LEVE – MESQUITA MADEIRAS, S.A. ....	50
4.9. WOODLAM - IMOWOOD .....	52
4.10. COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS E ALTERNATIVAS .....	54
4.10.1. TOSCCA .....	56
4.10.2. ARVESUND LIVING AB .....	56
4.10.3. CASEMA .....	56
4.10.4. RESUMO DAS EMPRESAS CONSTRUTORAS DE CASAS DE TRONCOS .....	57
<b>5. AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÓMICA</b> .....	59
5.1. ORGANIZAÇÃO DO CAPÍTULO .....	59
5.2. TIPOLOGIA DA HABITAÇÃO EM ESTUDO .....	59
5.3. DEFINIÇÃO DA CASA PADRÃO COM ESTRUTURA PREFABRICADA E EM ALVENARIA DE TIJOLO .....	61
5.3.1. FUNDAÇÕES .....	62
5.3.2. SUPERESTRUTURA .....	63
5.3.3. PAREDES EXTERIORES .....	65
5.3.4. COBERTURA .....	68
5.3.5. ABERTURAS .....	70
5.3.6. PAVIMENTO .....	71
5.3.7. PAREDES INTERIORES .....	73
5.3.8. INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS .....	74
5.3.8.1. Electricidade e sistemas análogos .....	74
5.3.8.2. Rede de águas e saneamento .....	75
5.3.8.3. Sistemas de aquecimento .....	76

5.3.8.4. Rede de distribuição de gás .....	77
5.3.8.5. Ventilação .....	77
<b>5.4. ANÁLISE TÉCNICA</b> .....	<b>78</b>
5.4.1. ESTABILIDADE ESTRUTURAL .....	79
5.4.2. SEGURANÇA CONTRA RISCOS DE INCÊNDIO .....	81
5.4.2.1. Reacção ao fogo e Resistência ao fogo.....	81
5.4.2.2. Comparação entre sistemas .....	83
5.4.3. SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO .....	85
5.4.4. SEGURANÇA CONTRA INTRUSÃO .....	85
5.4.5. ESTANQUIDADE À ÁGUA.....	86
5.4.5.1. Estanquidade de aberturas e paredes .....	86
5.4.5.2. Comparação entre sistemas .....	87
5.4.6. ESTANQUIDADE AO AR.....	87
5.4.7. CONFORTO TÉRMICO E POUPANÇA DE ENERGIA .....	89
5.4.7.1. Conforto térmico .....	89
5.4.7.2. Isolamento térmico e poupança de energia .....	90
5.4.7.3. Comparação entre sistemas .....	92
5.4.8. PUREZA DO AR.....	93
5.4.9. CONFORTO ACÚSTICO .....	94
5.4.10. HIGIENE .....	96
5.4.11. CONFORTO VISUAL.....	96
5.4.11.1. Planeza das superfícies e regularidade dos paramentos .....	97
5.4.11.2. Homogeneidade .....	97
5.4.11.3. Iluminação .....	97
5.4.11.4. Comparação entre sistemas .....	98
5.4.12. CONFORTO TÁCTIL .....	98
5.4.13. FACILIDADE DE LIMPEZA E MANUTENÇÃO .....	98
5.4.14. ADAPTAÇÃO À UTILIZAÇÃO NORMAL.....	99
5.4.14.1. Aptidão para fixar cargas suspensas .....	99
5.4.14.2. Incorporação de instalações .....	99
5.4.14.3. Resistência ao choque e abrasão .....	99
5.4.14.4. Comparação entre sistemas .....	99
5.4.15. DURABILIDADE.....	100

5.4.16. FACILIDADE DE TRANSPORTE .....	101
5.4.17. FACILIDADE DE MONTAGEM E DESMONTAGEM .....	101
5.4.18. SUSTENTABILIDADE .....	101
<b>5.5. ANÁLISE ECONÓMICA .....</b>	<b>102</b>
5.5.1. ORÇAMENTOS.....	103
5.5.1.1. Casa em alvenaria A .....	103
5.5.1.2. Casa em alvenaria B .....	103
5.5.1.3. Casa em alvenaria C .....	104
5.5.1.4. Casa prefabricada D - Jular.....	105
5.5.1.5. Casa prefabricada E .....	105
5.5.1.6. Casa prefabricada F .....	106
5.5.1.7. Casa prefabricada em betão G.....	107
5.5.2. ANÁLISE DOS PREÇOS OBTIDOS .....	107
<b>5.6. SÍNTESE DA ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA.....</b>	<b>108</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>111</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>115</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2.1 – Construções subterrâneas ou “pit-houses” .....	3
Fig.2.2 – Habitações no Arquipélago Indonésio .....	4
Fig.2.3 – Casa de troncos em Biscupin e muralha e torre do modelo a escala real .....	4
Fig.2.4 – Edifícios em Estrasburgo, França .....	5
Fig.2.5 – Esquema de uma estrutura em “gaiola” .....	5
Fig.2.6 – Paycockes House em Coggeshall no Essex e pormenor da fachada .....	6
Fig.2.7 – Esquema estrutural e exemplo de uma casa de troncos .....	7
Fig.2.8 – Exemplos de troncos com superfícies planas .....	8
Fig.2.9 – Sistema porticado, à esquerda, e Sistema Entramado, à direita .....	9
Fig.2.10 – Pórtico e respectivo pormenor .....	9
Fig.2.11 – Exemplos de sistemas entramados .....	10
Fig.2.12 – Estrutura em “Balloon Frame” .....	12
Fig.2.13 – Esquema da estrutura em plataforma .....	13
Fig.2.14 – Habitações construídas com painéis de pequenas dimensões .....	14
Fig.2.15 – Implantação da 1ª fiada e colocação de um módulo em obra .....	14
Fig.2.16 – Implantação dos apoios para sobreelevação e colocação do módulo em obra .....	15
Fig.3.1 – Secção transversal de um tronco e planos da madeira .....	18
Fig.3.2 – Coeficientes de retracção nas várias direcções (valores médios do pinheiro bravo) .....	19
Fig.3.3 – Curva Higrométrica .....	20
Fig.3.4 – Variação da tensão de rotura $\sigma_x$ com a densidade do material e o teor de água .....	20
Fig.3.5 – Degradação do rodape por acção de fungos .....	21
Fig.3.6 – Representação da alma num contraplacado .....	22
Fig.3.7 – Contraplacado .....	23
Fig.3.8 – Lamelado .....	23
Fig.3.9 – Painéis de MDF com acabamento em madeira e coloridos .....	24
Fig.3.10 – Painel de OSB e uma das correntes aplicações .....	25
Fig.3.11 – Aglomerado de partículas .....	26
Fig.3.12 – Platex .....	26
Fig.3.13 – Painéis de LVL .....	27
Fig.3.14 – Gráfico de comparação das resistências madeira maciça_lamelado colado .....	28

Fig.3.15 – Características da madeira lamelada colada, GL24 e GL36, combinada e homogénea ....	28
Fig.3.16 – Pormenor de ligação e apoio.....	29
Fig.3.17 – Aplicações de madeira lamelada colada.....	29
Fig.4.1 – Painel de AGEPAN e exemplo de aplicação.....	32
Fig.4.2 – Fachada do Shopping Pátio Brasil, em Brasília, e interior do Shopping Estação Viana, em Viana do Castelo .....	34
Fig.4.3 – Exemplo de módulo isolado, sala de jantar – S3, e de uma planta disponível, T1.B .....	35
Fig.4.4 – Colocação dos módulos em camiões para transporte e implantação de do módulo com recurso a grua.....	36
Fig.4.5 – Vigas Finnjoist e esquema de colocação utilizando estribo de fixação Simpson .....	37
Fig.4.6 – Piscina de ondas do parque ZMAR.....	38
Fig.4.7 – Casas de madeira no complexo ZMAR.....	38
Fig.4.8 – Lamelas em grelha, X-LAM .....	39
Fig.4.9 – Colocação das paredes prefabricadas em obra.....	39
Fig.4.10 – Pormenor da ligação fachada-laje.....	40
Fig.4.11 – Planta do 3º piso e perspectiva isométrica seccionada do edifício Murray Groove .....	42
Fig.4.12 – Construção do edifício Murray Groove, com destaque para caixa de elevador e caixa de escadas, e aspecto final .....	42
Fig.4.13 – Certificado Suomen Asiakastieto Oy .....	43
Fig.4.14 – Aspecto exterior das paredes do sistema Lapponia House .....	43
Fig.4.15 – Aspecto e pormenor construtivo de intersecção de paredes .....	44
Fig.4.16 – Exemplo de modelo standard em catálogo .....	45
Fig.4.17 – Modelo Arctia 215 e Nordia 215 da Lapponia House.....	46
Fig.4.18 – Vigas TJI, LSL e PLS .....	47
Fig.4.19 – Aplicação do sistema llevel .....	47
Fig.4.20 – Prémios da Weyerhaeuser por estratégias de sustentabilidade.....	48
Fig.4.21 – Planta e ilustração 3D da solução standard L.1+.....	49
Fig.4.22 – Exemplo de mobile home e série nomad .....	50
Fig.4.23 – Simulação de uma planta realizada no site da empresa Mesquita Madeiras, S.A. ....	51
Fig.4.24 – Sede da Direcção-Geral de Recursos Florestais do Centro .....	52
Fig.4.25 – Quadro de dimensões disponíveis e provete exemplificativo dos eixos considerados .....	53
Fig.4.26 – Perspectiva 3D e planta do modelo T1 das casas modulares Imowood .....	54

Fig.5.1 – Planta do Rés-do-chão.....	60
Fig.5.2 – Planta do 1º piso .....	61
Fig.5.3 – Ensoleiramento geral .....	63
Fig.5.4 – Exemplos de sistemas de sobrelevação.....	63
Fig.5.5 – Colocação do sistema de drenagem.....	64
Fig.5.6 – Execução da primeira fiada e perfil transversal de uma solução tipo.....	64
Fig.5.7 – Corte transversal de uma solução tipo KLH e IMOWOOD .....	65
Fig.5.8 – Ligações horizontais e verticais por ligadores metálicos .....	66
Fig.5.9 – Secção transversal de modelos de lambris e exemplo de aplicação .....	67
Fig.5.10 – Pormenor construtivo da parede exterior de alvenaria de tijolo .....	67
Fig.5.11 – Pormenor da ligação na cumeeira .....	68
Fig.5.12 – Fixação dos caibros à fachada .....	68
Fig.5.13 – Ligação entre painéis e armadura portante .....	69
Fig.5.14 – Perfil transversal de soluções em cobertura plana e inclinada.....	70
Fig.5.15 – Pormenor construtivo da cobertura.....	70
Fig.5.16 – Rosca de ajuste de assentamento.....	71
Fig.5.17 – Ligação dos pavimentos à fachada.....	72
Fig.5.18 – Pormenor pavimento e camada de isolamento acústico .....	73
Fig.5.19 – Parede interior, estilo tabique e sistema alternativo .....	73
Fig.5.20 – Pormenor construtivo da parede interior de alvenaria de tijolo .....	74
Fig.5.21 – Instalação eléctrica no rodapé e moldura .....	75
Fig.5.22 – Juntas de assentamento ao nível do pavimento e cobertura .....	76
Fig.5.23 – Chaminé em alvenaria de tijolo e conduta metálica .....	76
Fig.5.24 – Consequência de incêndio causado em chaminé de conduta metálica.....	77
Fig.5.25 – Fluxograma explicativo do modo de execução de projectos de estruturas .....	80
Fig.5.26 – Conversão da classificação da reacção ao fogo .....	82
Fig.5.27 – Velocidades de combustão .....	84
Fig.5.28 – Vigas de aço e madeira após incêndio .....	85
Fig.5.29 – Penetração da água nas paredes por acção da gravidade .....	86
Fig.5.30 – Formas de humedificação de paredes em contacto com o terreno.....	87
Fig.5.31 – Resultado de ensaio de permeabilidade ao ar .....	88
Fig.5.32 – Curvas de satisfação de conforto térmico.....	89
Fig.5.33 – Propriedades térmicas de materiais de construção.....	90

Fig.5.34 – Valores de U máximos e de referência .....	91
Fig.5.35 – Custos energéticos .....	108

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Classificação de sistemas de construção em madeira (adaptado de [9]) .....	7
Quadro 4.1 – Folha de propriedades do AGEPAN DWD .....	33
Quadro 4.2 – Propriedades do X-LAM.....	41
Quadro 4.3 – Descrições técnicas da madeira lamelada [imowood] .....	53
Quadro 4.4 – Quadro resumo dos sistemas construtivos modulares .....	55
Quadro 4.5 – Quadro resumo de empresas nacionais construtoras de casas de troncos .....	57
Quadro 5.1 – Parâmetros urbanísticos de maior relevo .....	60
Quadro 5.2 – Divisão de uma casa padrão em Órgãos funcionais .....	62
Quadro 5.3 – Exigências de desempenho de um sistema .....	79
Quadro 5.4 – Classes de reacção ao fogo.....	82
Quadro 5.5 – Exigências mínimas numahabitação unifamiliar .....	83
Quadro 5.6 – Níveis de qualidade da envolvente opaca .....	91
Quadro 5.7 – Classificação da inércia térmica.....	92
Quadro 5.8 – Massa volúmica dos materiais .....	93
Quadro 5.9 – Concentrações máximas dos poluentes .....	94
Quadro 5.10 – Isolamento acústico das paredes exteriores em edifícios para habitação .....	95
Quadro 5.11 – Isolamento acústico de materiais de construção .....	95
Quadro 5.12 – Exigência de planeza .....	97
Quadro 5.13 – Classificação associada ao ensaio de choque com corpo duro de 0,5 kg .....	99
Quadro 5.14 – Custos finais do construtor A .....	103
Quadro 5.15 – Custos finais do construtor B .....	104
Quadro 5.16 – Definição de preços por zona .....	104
Quadro 5.17 – Custos finais do construtor C .....	105
Quadro 5.18 – Custos finais do construtor D .....	105
Quadro 5.19 – Custos finais do construtor E .....	106
Quadro 5.20 – Custos finais do construtor F .....	106
Quadro 5.21 – Custos finais do construtor G.....	107
Quadro 5.22 – Quadro de preços.....	107
Quadro 5.23 – Resumo do desempenho comparativo entre soluções .....	109



## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

U - coeficiente de transmissão térmica [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ]

R - resistência térmica [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ]

$\lambda$  - coeficiente de condutibilidade térmica [ $\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$ ]

$I_t$  - inércia térmica [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]

c - calor específico [ $\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$ ]

$\mu$  - factor de resistência de difusão ao vapor

E - módulo de elasticidade [GPa]

KAR (knot area ratio) - índice de nós [%]

PSF - ponto de saturação das fibras [%]

$k_{\text{mod}}$  - factor de correcção que tem em conta a classe de serviço de utilização e a classe de actuação das acções

$\rho$  - massa volúmica aparente [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$\beta_0$  - velocidade de carbonização média [mm/min]

$I_a$  - isolamento aos sons aéreos [dB]

$R_{45}$  - isolamento acústico da envolvente [dB]

DPC - Directiva dos Produtos de Construção

ETA - European Technical Approvals

MDF - Medium Density Fiberboard

OSB - Oriented Strand Board

OMS - Organização Mundial de Saúde

PEFC - Programme for the Endorsement of Forest Certification

PMV - Predicted Mean Vote

PPD - Predicted Percentage of Dissatisfied







# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. OBJECTO DE ESTUDO

O tema desta dissertação é “Sistemas Construtivos Modernos em Madeira”.

A madeira é, desde os primórdios da existência humana, um material que acompanhou o Homem nas várias etapas da sua evolução, contribuindo decisivamente para o desenvolvimento da Humanidade. Devido às suas propriedades físicas, facilidade de manuseamento e processamento, variedade de formas e texturas, e abundância, a madeira sempre demonstrou uma grande dinâmica de utilização desde os utensílios mais básicos (armas de caça, instrumentos de trabalho, instrumentos musicais, etc.), até à complexidade das construções para habitação.

Na construção, a utilização da madeira esteve sempre ligada aos progressos tecnológicos correntes, a par do tijolo e da pedra. No início de século XX, com o aparecimento do betão armado, a utilização destes materiais entrou em declínio. Este facto está associado ao reconhecimento das potencialidades do betão através de estudos patentes em muitos documentos publicados, e ao aumento das exigências e da complexidade das estruturas inerentes ao desenvolvimento industrial no início do século. Desta forma, o betão consolidou facilmente a sua posição como principal pilar da construção, associada ao desenvolvimento industrial.

Este desenvolvimento remeteu a madeira para um papel secundário, sendo utilizada quase exclusivamente na construção de habitações precárias ou instalações auxiliares. Efectivamente, o desenvolvimento industrial provocou um êxodo das populações do interior para as grandes cidades na procura de melhores condições de vida. Para responder às crescentes necessidades de habitação, adoptaram-se sistemas pré-fabricados de madeira pela sua rapidez de execução. Esta utilização da madeira, arruinou a sua reputação e conferiu noções erradas relativamente às suas características estruturais e durabilidade principalmente devido à contenção de custos inerente às construções.

Os estigmas deste período permaneceram durante décadas, principalmente no nosso país, uma vez que em países desenvolvidos como os Estados Unidos, Norte da Europa e Japão, a madeira continuou a ter relevância nas construções para habitação. No entanto, num passado recente, a indústria associada à madeira emergiu como uma solução construtiva viável, suportada pelas crescentes preocupações ambientais, por novos processos tecnológicos e pelo desenvolvimento dos derivados da madeira, criados para eliminar defeitos (suprimir nós, fissuras existentes) e melhorar as propriedades da madeira (estruturais e físicas) consoante o objectivo da sua aplicação.

Paralelamente, foram realizados estudos que permitiram o esclarecimento de equívocos frequentemente associados a estes sistemas construtivos no que refere principalmente às valências estruturais e de segurança contra incêndios, tendo os resultados sido consagrados em regulamentos tal

como acontecera com o betão armado. Actualmente, esta indústria encontra-se numa fase de consolidação, pois existe uma quantidade relevante de empresas que oferecem serviços baseados nos pressupostos anteriores.

Nesse contexto, o objecto da dissertação consiste na exposição de algumas soluções de sistemas construtivos modernos em madeira, apresentando as suas especificidades, avaliando a sua fiabilidade, viabilidade e competitividade face aos restantes sistemas construtivos praticados actualmente.

Esta análise focou-se na procura de soluções prefabricadas em módulos, de pequena dimensão, grande dimensão e tridimensionais, sendo excluídas todas as outras soluções prefabricadas, como por exemplo os pórticos. Limitou-se igualmente esta análise a habitações unifamiliares ou multifamiliares de altura reduzida (até 2 pisos).

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

O trabalho apresentado neste documento foi desenvolvido tendo como base outros trabalhos que abordam as mesmas temáticas aqui relatadas, diversas referências bibliográficas sendo as mais relevantes a publicação do AITIM espanhol “Casas de Madera” [2] e a tese de Doutoramento do Professor Doutor Amorim Faria “Divisórias leves prefabricadas – Concepção e avaliação da viabilidade de um sistema realizado com base em madeira e derivados” [1].

As informações relativas aos sistemas construtivos relatados foram retiradas dos sites das empresas responsáveis pelos mesmos e de catálogos relativos aos sistemas.

## **1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

A dissertação encontra-se organizada em seis capítulos:

- o capítulo 1 denomina-se introdução e apresenta de forma sintetizada todo o conteúdo deste documento;
- o capítulo 2 serve para apresentar o material em estudo, as suas propriedades e evolução dos sistemas inerentes ao longo do tempo;
- no capítulo 3 faz-se uma exposição da madeira como material e dos principais derivados utilizados na construção;
- no capítulo 4 são apresentados alguns sistemas construtivos, segundo as suas propriedades características e especificidades;
- no capítulo 5 faz-se um estudo paralelo, comparando um sistema construtivo prefabricado em madeira e um empreendimento equivalente numa solução tradicional em alvenaria, segundo uma apreciação técnico-económica, utilizando para o efeito um caso modelo;
- o capítulo 6, conclusão, faz a síntese do que foi tratado nesta dissertação, apresentando as principais conclusões obtidas e alguns juízos sobre a indústria da madeira.

## 2

## EVOLUÇÃO DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA

### 2.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

Desde que o Homem abandonou os buracos e grutas naturalmente escavadas nas rochas, que a madeira o acompanhou como a matéria-prima elementar a ser utilizada na construção dos seus abrigos.

Efectivamente, ao longo da história encontramos registos de construções em madeira em todos os lugares do mundo, o que permite concluir que, havendo a presença do Homem e de materiais orgânicos aptos para a construção, algum tipo de estrutura de madeira se erguia.

Os vestígios arqueológicos mais distantes demonstram que, no período neolítico cerca de 5000 a.C., já se fabricavam construções utilizando troncos de madeira e alguns historiadores romanos defendem que já naquela altura se construía casas utilizando troncos cortados em secção rectangular [8].

As primeiras habitações em madeira, já datadas, são as denominadas construções subterrâneas ou “pit-house”. Este tipo de habitação é caracterizado por resultar dum processo de escavação estando o seu corpo abaixo do nível do terreno. As paredes feitas de terra apresentam forma circular ou rectangular e o telhado fica apoiado em troncos sustentados desde as paredes até um conjunto de troncos dispostos perpendicularmente às paredes, e dispostos de forma a deixar uma abertura onde era colocada a escada de acesso ao interior [10].

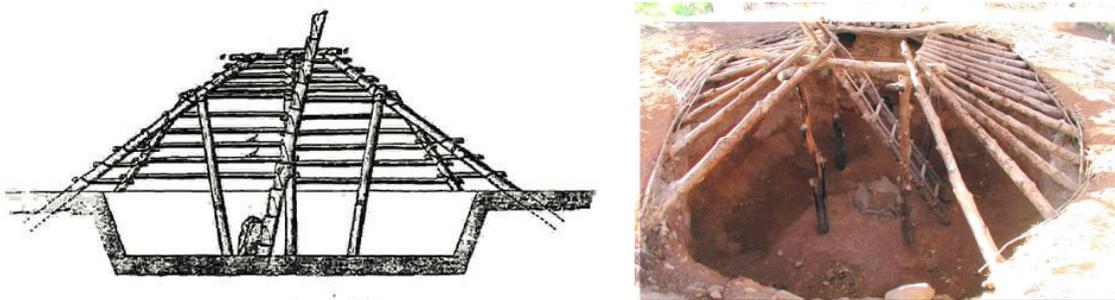


Fig.2.1 – Construções subterrâneas ou “pit-house” [11] [12]

Este tipo de edificação era habitual na América do Norte e do Sul e nos povos anglo-saxónicos da Europa e, a sua função, ao contrário do que se pensava no séc. XIX, não era exclusivamente de habitação, sendo que em muitos casos eram utilizadas para armazenamento de alimentos ou como local de convívio.

Os troncos que funcionam como suporte da cobertura foram o ponto de partida para as estruturas de madeira concebidas e aperfeiçoadas durante os anos vindouros, de acordo com as ferramentas e as novas tecnologias vigentes, respondendo às cada vez maiores exigências das sociedades. A forma como as estruturas se desenvolveram foi sempre condicionada por aspectos políticos e geográficos e sobretudo pelas características culturais das populações.

Em alguns locais da Ásia, as habitações demonstravam estéticas impressionantes, celebrando a influência do mar e pesca nas suas vidas e o respeito pelos antepassados. No arquipélago da Indonésia, as habitações apresentavam a forma de embarcações e a sua orientação Norte-Sul pretendia ser uma alusão aos seus antepassados chineses e cambojanos.



Fig.2.2 – Habitações no Arquipélago Indonésio [8]

Estas casas construídas à base de madeira e unidas entre si por fibras vegetais, alcançaram níveis de solidez e de segurança estrutural tão elevados que dificilmente a tecnologia moderna terá algo a acrescentar, constituindo provavelmente o método mais eficaz e económico de utilização de materiais naturais.

Na Europa, a abundância de bosques de coníferas, a Norte e Este principalmente, levou a que a madeira desde cedo se convertesse num material básico para a construção. Em 700 a.C., existiu na Polónia, em Biscupin, uma povoação constituída por casas de troncos. No início do século XX, esta povoação foi redescoberta, tendo sido criada uma reprodução a escala real que funciona actualmente como museu a céu aberto, considerada como um dos parques arqueológicos mais relevantes da Europa [14], figura 2.3.



Fig.2.3 – Casa de troncos em Biscupin [13] e Muralha e torre do modelo a escala real [14]

Mais a Norte, segundo documentos existentes, atesta-se a existência de casas de madeira na Noruega no séc. IV d.C. e que, na Escandinávia, a presença de casas de madeira com troncos dispostos horizontalmente e verticalmente era frequente a partir do ano 1000 d.C. [8].

Neste caso, a disposição horizontal teve maior aceitação que a disposição vertical dos troncos devido à maior estabilidade estrutural. O principal inconveniente da disposição horizontal prende-se com a estanquidade à água e ao vento. Devido aos precários sistemas de acoplamento, não se verificava uma correcta estanquidade da estrutura, procurando-se no entanto mitigar o problema através de telas tecidas da cor da madeira ou de musgos, argila e terra, dependendo do orçamento para a construção.

Estes problemas só foram solucionados no século XV com o desenvolvimento das técnicas de serragem. A utilização da água como força motriz permitiu a obtenção de tábuas grossas em que a união através de espigas se verificou muito eficaz. Estas observações resultaram numa substituição progressiva das casas de troncos por casas de tábuas ou troncos rectangulares.

Estes princípios funcionaram como rampa de lançamento para a arquitectura em madeira dos séculos seguintes que, na sua fase de construção popular, alcançou níveis de performance e desenvolvimento de tal forma impressionantes, que existem inúmeros exemplares que, se perpetuaram até aos dias de hoje.

Na Nova Guiné existem igrejas com mais de 18 metros de altura e 30 de comprimento construídas inteiramente em madeira. São obras arrojadas em que as coberturas são suportadas por pilares de bambu firmemente cravados no solo. A construção sobre colunas está presente em praticamente todos os continentes devendo-se a sua popularidade à eficácia contra condições meteorológicas adversas (chuvadas) e ataques de animais.

Na Europa, embora já na idade do Bronze (3000-1500 a.C.) se utilizassem pranchas de formato rectangular limitadas pelos meios precários da altura, a arquitectura em madeira atingiu patamares de performance superiores na época medieval. Os principais avanços prendem-se com a utilização de corpos salientes em relação ao plano das paredes que permitem a redução dos elementos que suportam as cargas e facilitam a construção, e dum método inglês que permitiu aumentar a dimensão em planta, que consistia na utilização de duas tábuas encurvadas unidas nos extremos por um cavalete e estabilizadas por outra com resistência à tracção colocada ao nível do 1º andar.

Os avanços foram tais que, no final da idade média, se construíam edifícios em madeira de 5 ou 6 andares com resistências semelhantes a outros construídos em pedra e tijolo.

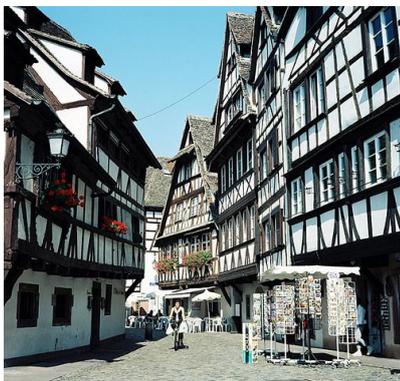


Fig.2.4 – Edifícios em Estrasburgo, França [15]

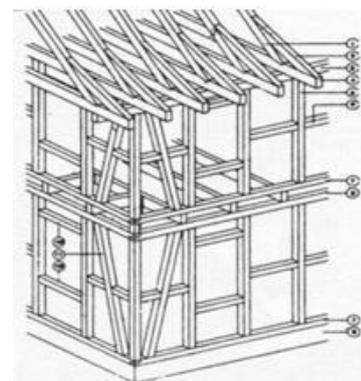


Fig.2.5 – Esquema de uma estrutura em “gaiola” [9]

Outro aspecto interessante é a versatilidade dos elementos utilizados nas paredes. Estas eram construídas preenchendo os espaços existentes na madeira com areia ou argila, aplicando-se um entrelaçado de ripas e tecido firmemente preso à estrutura, pelo interior e pelo exterior. Este sistema foi naturalmente adoptado em Portugal, denominando-se por “taipas” no Porto, em alusão ao material de preenchimento das paredes, e de “gaiolas” em Lisboa, derivando do francês “à colombage” em alusão ao aspecto da estrutura em madeira. [9]

No entanto, foi rapidamente substituído por alvenarias e tijolo pois não apresentava a elasticidade necessária para resistir às contracções e torções da madeira, estalando com facilidade.

Em países como a Holanda ou Norte da Europa, a alvenaria começou por ser a solução adoptada dando lugar ao tijolo, por este resultar em soluções esteticamente mais atractivas. Dos vastos exemplos destas soluções pode-se salientar a Paycockes House, em Coggeshall, em que os tijolos estão dispostos nas paredes em espinha de peixe, conforme está ilustrado na figura 2.6.



Fig.2.6 – Paycockes House em Coggeshall no Essex e Pormenor da fachada [16]

Durante este período, as construções em madeira conheceram o seu apogeu que veio a culminar no fim do séc. XIX e início do séc. XX com o aparecimento do betão armado e a compreensão das suas potencialidades. Este desenvolvimento está associado à realização de numerosas patentes relevantes nomeadamente no que respeita a bases de cálculo e a disposição de armaduras nos elementos estruturais.

Em Portugal, o betão armado assume o papel de maior relevância em relação aos materiais de construção no início do séc. XX, impulsionado pela sediação da indústria de cimento em Portugal com a criação da fábrica de cimento Tejo em 1894, e pela aprovação, em 1918, do 1º regulamento no domínio do betão armado “Instruções Regulamentares para o Emprego do Beton Armado” [17].

Paralelamente, o desenvolvimento industrial provocou uma migração das povoações do interior para as grandes cidades. Face às grandes necessidades de alojamento, promoveu-se a construção de habitações sociais utilizando pré-fabricados de madeira devido ao baixo custo e rapidez de execução. A madeira fica assim associada a habitações de fraca qualidade, precárias prevalecendo essas noções até aos tempos de hoje.

No entanto, em países mais desenvolvidos, a madeira nunca perdeu a notoriedade adquirida séculos atrás, sendo que nos Estados Unidos da América, Países Nórdicos e Japão, a madeira continua a ser o material mais utilizado na construção (responsável por cerca de 80% da habitação residencial).

No sul da Europa, as valências atribuídas durante o desenvolvimento industrial, começam a ser refutadas e as crescentes preocupações ambientais promovem a madeira como material de construção competitivo e com enormes potencialidades.

## 2.2. TIPOS DE CONSTRUÇÕES EM MADEIRA

Caracteristicamente, as construções em madeira são classificadas em três grandes tipos: casa de troncos (“Loghomes”), casas com estrutura em madeira pesada (“Heavy Timber”) e casas com estrutura em madeira leve (“Light Framing”).

No entanto, nos tempos actuais, foram criados novos sistemas que pelo seu grau de desenvolvimento e tecnologias utilizadas não devem ser englobados em nenhum dos tipos enunciados. Assim, é proposta uma adenda a estes tipos, sendo a classificação final uma adaptação da que é proposta em [9].

Esta classificação passa então a englobar os sistemas com estruturas prefabricadas que são o objecto de estudo neste documento e, como já foi referido no capítulo introdutório, foram excluídos outros sistemas posteriores aos de estruturas leves que não sejam modulares.

Quadro 2.1 – Classificação de sistemas de construção em madeira (adaptado de [9])

Tipo de estrutura	Sistemas tipo
Casas de Troncos	
Estrutura em madeira pesada	Porticado – “Post&Beam”
	Entramado – “Timber Frame”
Estrutura em madeira leve	Estrutura em Balão – “Balloon Frame”
	Estrutura em Plataforma – “Platform Frame”
Estrutura prefabricada à base de módulos	Módulos de pequenas dimensões
	Módulos de grandes dimensões
	Módulos tridimensionais

### 2.2.1. CASAS DE TRONCOS – “LOGHOMES”

Este modelo estrutural é o mais antigo dos tipos de construção em madeira mais frequentes (as primeiras edificações datam da idade da pedra na Polónia e Turquia).

Como já foi referido anteriormente, a disposição mais comum dos troncos é a horizontal, devido à maior estabilidade estrutural, sendo que a disposição vertical dos mesmos é também uma opção correntemente adoptada.



Fig.2.7 – Esquema estrutural [2] e Exemplo de uma casa de troncos [18]

Esta metodologia diferencia-se das outras pois o menor tratamento da madeira representa mais fielmente todo o seu esplendor, estando o resultado final completamente condicionado pela matéria-prima em uso. Esta característica que num passado recente condenou este sistema a um papel secundário, actualmente, devido às evoluções tecnológicas, encontra-se extremamente valorizada pois traduz um aspecto rústico, artesanal e muito expressivo. Efectivamente, este sistema é o único que dispensa qualquer tipo de revestimento ou acabamento.

Do ponto de vista estático, pelas mesmas razões enumeradas atrás, é o sistema mais limitado, pois a madeira encontra-se a trabalhar perpendicularmente à direcção das fibras, resultando num aproveitamento das capacidades resistentes em cerca de 20 a 30 vezes menor que na direcção longitudinal (apenas se aproveita 5% da capacidade resistente celular). [2]

A estabilidade da construção é mais afectada neste sistema relativamente aos posteriores, pois a madeira sofre processos complexos de secagem, o que resulta em variações dimensionais significativas e consequentes deslocamentos entre as peças. Actualmente, esta característica não é tão gravosa, pois o conhecimento das propriedades da madeira permitiu a mitigação destes problemas até à sua colocação em obra. Nesse sentido, o abate das árvores é realizado entre o início do Outono e o início do Inverno pois a existência de vegetação e circulação de seiva é praticamente nula, sendo que posteriormente estes troncos passam por fases de secagem mais ou menos complexas conforme as características iniciais e as finais pretendidas para os mesmos. [19]

O sistema, devido à secção arredondada dos troncos, permite uma completa ligação entre peças mediante um projecto cuidadosamente estruturado tendo principal atenção ao movimento entre troncos que pode provocar interacções instáveis, nomeadamente nos cantos onde é feita a ligação e travamento dos paramentos. Actualmente, este problema não é tão opressivo pois são utilizados troncos com uma ou mais faces rectangulares, permitindo uma maior superfície de apoio e maior estabilidade da estrutura.

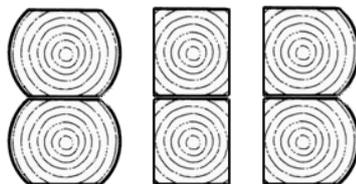


Fig.2.8 – Exemplos de troncos com superfícies planas [2]

### 2.2.2. CASAS COM ESTRUTURAS EM MADEIRA PESADA – “HEAVY TIMBER”

Este tipo de sistema construtivo surge naturalmente como resposta à necessidade do Homem de atingir a excelência, na procura de edificações maiores, originais e singulares. Tem como ponto de partida as casas de troncos, superando esse conceito no que respeita à concepção arquitectónica e complexidade estrutural.

Apercebendo-se das limitações estruturais dos sistemas mais precários, potencializa as características resistentes da madeira, colocando as peças a trabalhar ao longo da direcção paralela às fibras e formando estruturas mistas com outros materiais (utilização de muros de carga). Este sistema inovador permite aberturas maiores e edifícios até seis andares.

A sua crescente popularidade faculta a globalização do sistema, nomeadamente da Europa até à América do Norte e Ásia. Como referido no ponto anterior, este sistema prevalece até ao séc. XIX onde atinge o seu apogeu, sendo então substituído por sistemas com estruturas em betão armado.

Este método tem como particularidade a separação física entre a estrutura, envolvente e revestimentos. Esta particularidade favorece a total fabricação da estrutura “in situ”, desde o corte até à montagem e assemblagem final. Como se verificou que embora complexo, o sistema podia ser facilmente dividido e todas as peças desmontáveis e transportáveis, este tornou-se extremamente competitivo, potencializado pela crescente industrialização, instrumentalização e pela introdução da pré-fabricação.

Habitualmente, faz-se uma divisão deste tipo de estruturas considerando o tipo de sistema apresentado, separando-se assim em duas soluções: o sistema porticado ou de treliças (“Post&Beam”) e o sistema entramado (“Timber Frame”). As estruturas referidas têm em comum a utilização de grandes elementos de madeira com elevado peso próprio.



Fig.2.9 – Sistema Porticado, à esquerda, e Sistema Entramado, à direita [2]

#### i) Sistema Porticado – “Post&Beam”

Neste sistema, o destacamento entre a estrutura em si e os revestimentos é evidente pois este é constituído por um conjunto de pórticos que formam um conjunto autoportante.

As vigas e os pilares têm grandes dimensões, permitindo obter vãos com significado suficiente para ficarem aparentes. Os espaços são amplos, sendo definidos de forma moderadamente versátil através dos revestimentos (placagens facilmente amovíveis). A rigidez do pórtico é obtida através de elementos diagonais que funcionam como escoras na direcção em que estão dispostos, como o ilustrado na figura 2.10.

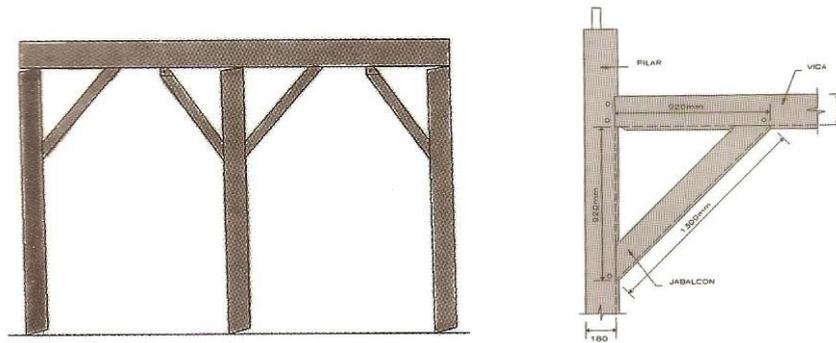


Fig.2.10 – Pórtico e Respectivo pormenor [2]

A versatilidade desta solução no que respeita a acabamentos e revestimentos impulsionou o desenvolvimento de soluções baseadas em derivados da madeira e vice-versa. Por outro lado, o desenvolvimento deste sistema é facultado pelo aparecimento de programas de desenho assistido por computador (CAD) que facilitava a definição da super-estrutura e respectivos pormenores.

ii) Sistema de entramado – “Timber Frame”

Este sistema, estruturalmente, varia do anterior essencialmente pela introdução de elementos portantes diagonais, ao contrário dos elementos sem grande expressão física da solução anterior. Assim, nesta solução, a definição dos espaços fica obrigatoriamente condicionada pela presença destes elementos (definição de planos verticais).

Estruturalmente, cada parede funciona como um muro resistente, onde a madeira trabalha na direcção das fibras e as ligações, do tipo macho-fêmea, são menos complexas que no sistema porticado.

A utilização dos elementos estruturais de grande largura tem implicações, ao nível do peso da estrutura, que se traduzem numa redução dos pés-direitos disponíveis em relação ao sistema anterior.

Os preenchimentos e revestimentos, estão também condicionados sendo que se preenchem os espaços vazios com materiais adequados (madeira, cerâmica), podendo a estrutura ficar visível como na figura 2.11, ou oculta por revestimentos apropriados (folheados).

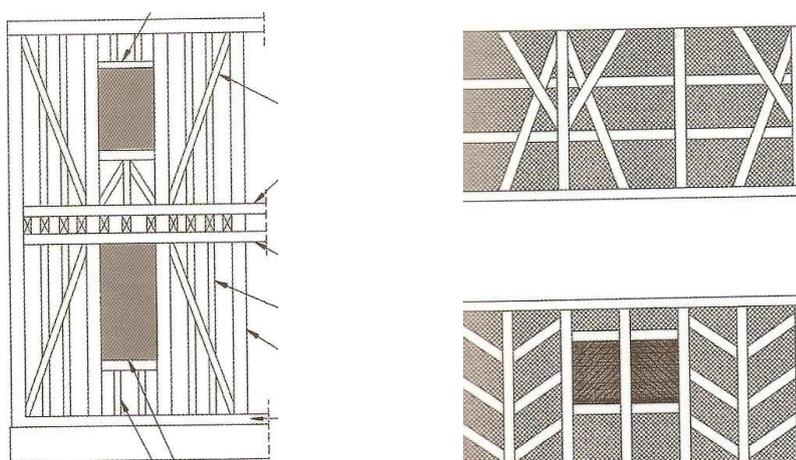


Fig.2.11 – Exemplos de sistemas entramados [2]

### 2.2.3. CASAS COM ESTRUTURA EM MADEIRA LEVE – “LIGHT FRAMING”

O sistema das casas com estrutura em madeira leve, é mais recente no que respeita às construções em madeira, e surge no séc. XIX, na América do Norte como consequência directa de dois factores: a existência e disponibilidade de produtos industriais normalizados (madeira serrada e pregos) e a necessidade dum sistema de construção rápido que respondesse à carência de habitações resultantes da colonização do Oeste dos Estados Unidos da América. [2]

Este sistema, embora surgindo no seguimento das estruturas em madeira pesada, representa um novo conceito estrutural. Efectivamente, a introdução de novos elementos estruturais (muros e lajes), confere à estrutura uma nova dimensão, dotando o resultado de uma noção espacial semelhante ao praticado nas actuais estruturas em betão armado. A implicação de novos componentes, permite diminuir a largura destes de uma forma generalizada, pois a carga é distribuída e conduzida por um maior número de elementos.

Na prática, o sistema faz uma definição concreta das funções da estrutura principal, dos componentes com funções simultaneamente resistentes e de revestimento (muros resistentes e coberturas) e dos componentes com funções exclusivamente de revestimento.

O tipo de material utilizado, produtos industrializados normalizados, teve repercussões óbvias no processo construtivo. Assim, um processo que era ainda bastante artesanal evoluiu para outro que se baseava num planeamento cada vez mais detalhado, procurando eliminar actividades que promovessem a sua não qualidade (atrasos, desperdícios). Nesta nova metodologia emergem a modulação, a prefabricação e a maior mobilidade de materiais.

A madeira serrada promove a adopção de geometrias mais simples, diminuindo consideravelmente o tempo de execução de uma obra, tornando-a mais económica, e a adopção de uniões mais simples, recorrendo quase unicamente a pregos e cavilhas, exclui a necessidade de utilização de mão-de-obra altamente especializada.

Do ponto de vista das instalações, o novo sistema é bastante mais fácil de manusear pois os elementos estruturais, sendo mais versáteis, possuem cavidades que permitem a passagem de instalações e a colocação do isolamento térmico, indispensável devido à perda de inércia térmica resultante da menor massa unitária das madeiras (medida habitualmente em  $\text{kg/m}^2$ ).

O controlo automático assume um papel de relevância cada vez maior, comparativamente ao verificado nas estruturas em madeiras pesadas, pois o elevado número de peças utilizado no processo implica um pormenor progressivamente maior nos desenhos, e a necessidade de celeridade implica uma grande versatilidade e flexibilidade do projecto nos seus desenhos iniciais e posteriores modificações (programas de desenho mais eficazes).

Paralelamente, e como resultado dum planeamento cuidado, o controlo de materiais na chegada em obra e a sua protecção enquanto não são utilizados na construção torna-se fundamental, ganhando relevância a organização do estaleiro. As madeiras utilizadas necessitam de um controlo cuidado do teor de água para acautelar variações dimensionais. No entanto, este tipo de sistema é trabalhado a seco não estando a construção dependente da estação climatérica, derivando num processo mais limpo e rápido.

As estruturas leves estão intrinsecamente ligadas à indústria dos derivados da madeira, revestimentos e acabamentos pois, sem estes recursos, são consideradas soluções esteticamente inaceitáveis.

Devido à menor densidade da madeira e da aparência frágil, estas soluções são erradamente consideradas como apresentando uma durabilidade inferior. Este facto pode ser acautelado através de

uma correcta manutenção da habitação e é expressamente refutado por casas existentes nos Estados Unidos da América, Rússia e Escandinávia com mais de 100 anos.

As estruturas leves são correntemente divididas em dois tipos: “Balloon Frame” (estrutura em balão) e “Platform Frame” (estrutura em plataforma).

i) Estrutura em Balão – “Balloon frame”

As estruturas em balão estão na origem das estruturas leves. O seu surgimento ocorreu por volta do ano 1830 por George Washington Snow, um engenheiro americano que fez carreira como empreiteiro e negociante de madeira para construção. [9]

O sistema é caracterizado por ter fachadas executadas com montantes contínuos apresentando normalmente dois pisos. Devido à sua precocidade, este tipo de sistemas é muito complexo, com pouca intervenção da pré-fabricação, e tem na sua essência alguns defeitos inerentes.

A montagem do edifício é complexa, devido à altura dos montantes (contínuos e com altura de dois pisos), à dificuldade de arranjar peças de madeira com dimensões e propriedades suficientes para integrar a estrutura (problema mitigado com normalizações), e ao facto da montagem das peças se realizar necessariamente em simultâneo.

Este sistema tem a particularidade das vigas onde assentam as lajes se ligarem directamente aos montantes, sendo travadas por tábuas transversais, formando consequentemente o piso.

Esta tipologia apresenta deficiências no que respeita à resistência e segurança ao fogo pois não promove um corte físico bem definido entre pisos o que, em caso de fogo, num piso, permitiria que este se alastrasse facilmente para o outro.

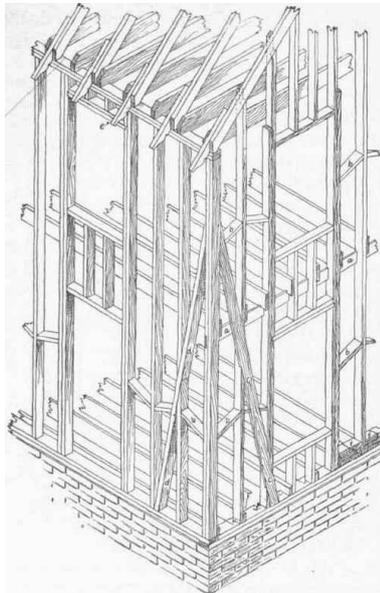


Fig.2.12 – Estrutura em “Balloon Frame” [20]

ii) Estrutura em plataforma – “Platform Frame”

Este sistema é a evolução das estruturas em balão, progredindo no sentido de colmatar as falhas inerentes ao sistema anterior.

A principal diferença em relação às estruturas em balão prende-se com a inserção de placas de madeira para revestimento das estruturas, primeiramente em madeira maciça e actualmente em derivados de madeira. Estas placas funcionam como muros de suporte garantindo uma boa ligação entre os diferentes componentes da estrutura e facultando o funcionamento como um corpo só. Estes muros de revestimento permitem ainda fragmentar os montantes, passando a altura destes a corresponder à altura do próprio piso. As plataformas ao nível de cada piso apoiam directamente nestes muros que funcionam como estrutura de suporte. Esta divisão física dos pisos permite reduzir os riscos de propagação do fogo entre pisos, em caso de incêndio.

A montagem deste sistema é mais acessível devido à fragmentação de elementos de grande dimensão e ao aumento da estabilidade do sistema. A montagem desenvolve-se com a elevação progressiva de plataformas, apoiadas em paredes, que se vão travando até à cobertura.

A menor dimensão das peças favorece a utilização da pré-fabricação neste sistema que, aliada à simplicidade do sistema de montagem, permite a diminuição nos prazos e nos custos associados à mão-de-obra.

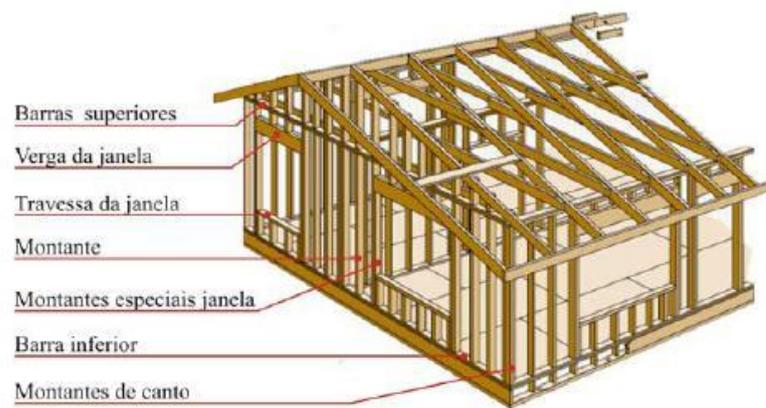


Fig.2.13 – Esquema da estrutura em plataforma – adaptado de [21]

### 2.2.3. CASAS COM ESTRUTURA PREFABRICADA

As estruturas prefabricadas constituem uma natural evolução na construção em madeira.

Efectivamente, observando os pontos anteriores, verifica-se a crescente utilização de prefabricados na construção, mas ainda de uma forma pontual nos processos. Pela utilização noutros tipos de estrutura é conveniente explicitar o significado das estruturas englobadas nesta tipologia.

Assim, apelidam-se de estruturas prefabricadas aquelas em que o sistema de construção é concebido de forma totalmente integrada e em que as operações a realizar em fábrica e no local estão perfeitamente definidas. Os componentes e materiais advêm de um grande índice de prefabricação sendo que no local apenas se procedem a operações de montagem e a um número reduzido de operações de corte e serralagem de componentes.

A classificação proposta para estes sistemas, como já foi referido, é a sua divisão em módulos de pequenas dimensões, grandes dimensões e tridimensionais. Esta pode ser limitativa tendo em conta o elevado número de variantes que vão surgindo com o crescente grau de prefabricação, mas é representativa pois engloba as mais frequentes.

Os sistemas com módulos de pequenas dimensões são aqueles que utilizam painéis com dimensões de 2,8m de altura por larguras inferiores a 1,2m. São sistemas que se assemelham aos de estruturas leves,

estando as dimensões dos painéis limitados pelos pés direitos e pelo projecto de arquitectura. A principal vantagem em relação aos outros sistemas prefabricados é a sua maior versatilidade na obtenção de estruturas mistas devido às suas menores dimensões.

A figura 2.14 representa um sistema construtivo leve que utiliza painéis de pequenas dimensões em conjunto com paramentos em alvenaria de tijolo. [9]



Fig.2.14 – Habitação construída com painéis de pequenas dimensões [9]

Os módulos de grandes dimensões, na sua síntese, são explicados pelo progresso no sentido de obter em fábrica os paramentos verticais dos edifícios. As dimensões destes compreendem-se habitualmente entre os 3 metros de altura e os 6/7 metros de largura.

Os sistemas que recorrem a este tipo de módulos são interessantes pelo facto de ser possível ainda em fábrica a execução de aberturas nas fachadas, eliminando os trabalhos associados em obra. A montagem em obra é relativamente fácil pois, após a implantação das fiadas que apoiam nas fundações ou estruturas de suporte, esta decorre a um ritmo elevado.



Fig.2.15 – Implantação da 1ª fiada e Colocação de um módulo em obra [22]

Os sistemas com módulos tridimensionais são provavelmente os mais arrojados e os que exploram ao máximo as propriedades da prefabricação. Devido à especificidade dos módulos, as dimensões destes são muito variáveis e estão dependentes do produtor.

Por não apresentarem muita versatilidade, existem sistemas que apresentam módulos tridimensionais articulados, que na realidade não são mais do que soluções que se situam entre os módulos de grande dimensão e os tridimensionais.

Os módulos habitualmente correspondem a um compartimento da casa (cozinha, sala, etc.) mas em habitações com grandes áreas é comum que os módulos correspondam a apenas partes das divisões. Estas estruturas têm a particularidade de frequentemente serem colocadas sobre apoios de forma a ficarem ligeiramente sobrelevados em relação ao nível do solo de forma a ficarem protegidas de ataques ambientais e para mitigar os efeitos do desgaste do contacto directo com o solo.

A figura seguinte mostra a colocação de um módulo tridimensional em obra e as operações de implantação dos referidos apoios.



Fig.2.16 – Implantação dos apoios para sobrelevação e Colocação do módulo em obra [23]

Sobre estes tipos de estruturas prefabricadas é necessário fazer algumas considerações. Os tempos de montagem, a mão-de-obra necessária, o número de operações, em princípio, serão tanto menores quanto maiores forem os componentes prefabricados.

O transporte dos componentes poderá ser mais cuidadoso, e ter exigências mais rigorosas, quanto maior for o tamanho dos componentes ou mais próximo da solução final os módulos estiverem. Os equipamentos para montagem não diferem muito entre tipologias nem a qualificação da mão-de-obra utilizada. O que varia é a coordenação entre intervenientes e a necessidade de detalhe dos projectos, conforme a quantidade de trabalhos e a dimensão dos módulos, sendo previsivelmente maior nos módulos de pequena dimensão.



# 3

## MADEIRA MACIÇA E DERIVADOS

### 3.1. INTRODUÇÃO

Actualmente, a madeira além de ver reconhecidas as suas propriedades mecânicas, vê também claramente reconhecidas as suas propriedades físicas, nomeadamente, no que respeita à estética, cheiro, elexibilidade (propriedade que a madeira possui de se deixar dobrar ao longo das fibras, sem partir, excluindo o que respeita à capacidade estrutural). Este reconhecimento proporciona um novo leque de aplicação da madeira, não tão restritivo do ponto de vista estrutural. Os derivados da madeira, tiveram um papel muito importante neste reconhecimento, tendo sido criados com o intuito de melhorar as características da madeira, do ponto de vista mecânico ou físico, tornando esta indústria mais competitiva.

Este ponto tem como intenção explicitar os principais materiais utilizados nos sistemas em estudo, desde a madeira maciça aos variados derivados utilizados na construção, deixando a análise das principais inovações tecnológicas para o capítulo 4, aquando da sua inserção nos sistemas.

### 3.2. MADEIRA MACIÇA

A madeira maciça, por estar na génese de todos os sistemas conhecidos, tem obviamente um papel muito relevante na indústria, sendo natural e justificável que os materiais posteriores tenham sempre como ponto de comparação este mesmo material.

A madeira é um material de origem biológica, formado por matéria heterogénea e anisotrópica que advém de organismos vivos, as árvores. Devido à sua origem natural, este material tem muitas especificidades, sendo que nesta dissertação apenas se vão referir os aspectos com maior interesse para o trabalho de engenheiros e arquitectos, no que respeita à aplicação da madeira em construção.

A madeira provém quase exclusivamente do tronco das árvores, que é simultaneamente responsável pelo suporte (parte mais rija e resistente) e pela condução de seivas (importantes para os processos de fotossíntese). Estas características favorecem a disposição longitudinal das fibras, sendo que a estrutura anatómica depende da espécie florestal e também da idade e das condicionantes ambientais.

Esta disposição, conjuntamente com o crescimento do lenho de forma a aumentar o diâmetro afastando-se da medula, provoca uma simetria axial que resulta na anisotropia das propriedades da madeira, tanto nas propriedades mecânicas como nas propriedades físicas (retracção). Por esta razão é normal fazer uma diferenciação entre os diferentes planos da madeira, o plano longitudinal (directão paralela às fibras) e o plano transversal (perpendicular às fibras) ilustrado na figura 3.1. [7]

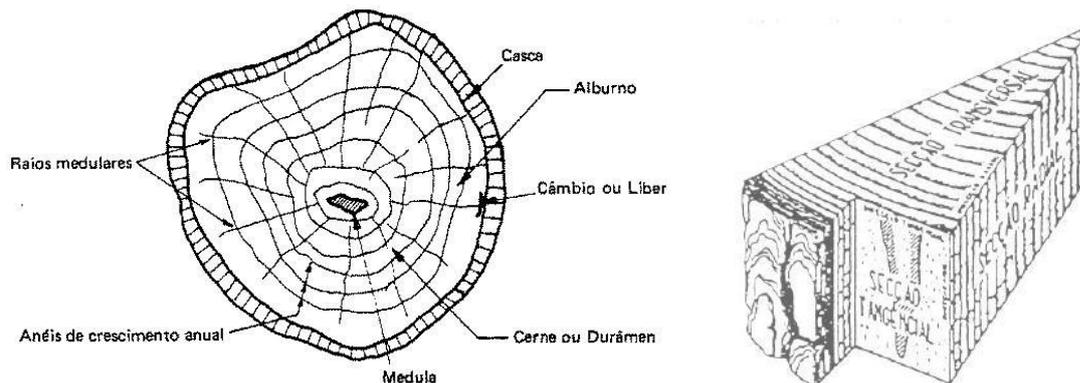


Fig.3.1 – Secção transversal de um tronco e Planos da madeira [24] [7]

As madeiras maciças são divididas em dois grandes grupos: as que provêm de árvores resinosas e as que provêm de árvores folhosas. As árvores folhosas (carvalho, castanheiro, eucalipto) são anatomicamente mais complexas e diversificadas que as resinosas (pinheiro, abeto, cedro), traduzindo-se este facto numa maior diversidade de características entre espécies. Esta diversidade de espécies e o facto de os vendedores empregarem novas designações comerciais, mais cativantes ou sugestivas, fazem com que exista confusão no mercado uma vez que apesar de existir muita oferta, não são publicitadas as verdadeiras capacidades do material.

Neste ponto, é importante o reconhecimento das especificações da madeira. Os principais factores a avaliar são a quantidade de água presente na madeira, os defeitos inerentes, estabilidade dimensional e a resistência mecânica e a forma como estes factores estão relacionados.

Os defeitos ou anomalias, são as particularidades das madeiras que a condicionam em termos estéticos e/ou estruturais, definindo assim a qualidade das mesmas. Os defeitos existentes estão exaustivamente relatados na NP 180:1962 [25] e podem ser agrupadas em defeitos associados à morfologia das árvores e as resultantes de influências exteriores (práticas culturais ou efeitos meteorológicos), ou secagem e abate das árvores.

Um dos defeitos mais restritivos são os nós, resultado da inserção de um ramo no tronco, e que são geralmente considerados inestéticos e não aconselháveis para uso não estrutural, podendo contudo vir a ser prejudiciais estruturalmente se a percentagem na secção transversal (KAR) exceder um determinado limite. Outros defeitos relevantes são o fio inclinado (existência de um ângulo entre a direcção predominante das fibras e o eixo longitudinal), fendas (originadas por secagem ou pelo crescimento, dependendo os seus efeitos na resistência da localização, comprimento e profundidade) e o descaio, defeito de laboração. Estes defeitos têm na sua génese implicações na resistência da madeira devido maioritariamente à anisotropia do material. [7]

A humidade é um dos principais problemas associados às madeiras devido às variações dimensionais que provoca. As madeiras enquanto verdes têm uma grande quantidade de água (constituição, impregnação e livre). A água de constituição é inerente ao lenho e só pode ser removida havendo decomposição química. Por outro lado, a água de impregnação ocupa os espaços existentes entre constituintes da parede, e a água livre os espaços vazios na estrutura alveolar, não estando efectivamente ligada à madeira.

Após o abate, a árvore perde com relativa velocidade a água livre existente, atingindo o Ponto de Saturação das Fibras (PSF), sendo que as paredes estão ainda completamente impregnadas (28 a 30%

de teor de água aproximadamente). Neste estado não se verificam retracções ou alterações consideráveis na resistência mecânica.

Após este ponto, a perda de água é muito mais lenta e gradual, mas com implicações importantes na retracção do material, como está patente na figura 3.2.

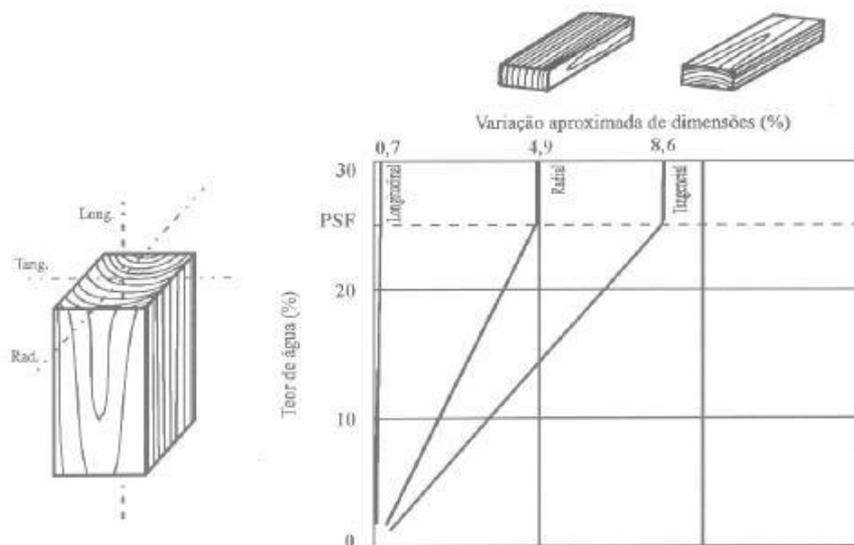


Fig.3.2 – Coeficientes de retracção nas várias direcções (valores médios do pinheiro bravo) [7]

Como é visível no gráfico, na direcção longitudinal a variação dimensional é quase nula, sendo desprezável em relação às tangenciais e radiais. A retracção na madeira por perda de humidade é no entanto um fenómeno reversível sendo que o inchamento se procede aproximadamente na mesma medida.

Estas retracções são um dado importante a ter em conta pois, após aplicação, podem-se traduzir em empenamentos e fendas, existindo por isso um parâmetro, coeficiente unitário de retracção, que avalia a variação dimensional nas diferentes direcções. Estes coeficientes são normalmente utilizados para classificar a estabilidade estrutural das madeiras através da relação entre o coeficiente tangencial e o radial.

A classificação permite avaliar quais as madeiras com anisotropia mais elevada e conseqüentemente mais susceptíveis de empenar. Os empenamentos não se traduzem em perdas de resistência mecânica mas são relevantes por dificultarem o seu manuseamento.

Para acautelar este problema, são realizados estudos de forma a averiguar qual a quantidade de água ideal na madeira aquando da sua utilização. O parâmetro utilizado para esta averiguação é o teor de água. Efectivamente, a madeira é um material higroscópico, variando o seu teor de água consoante a humidade relativa e a temperatura ambiente do ar envolvente.

Assim, são criados processos de secagem naturais, que necessitam de muito tempo e espaço, ou industriais, realizados em estufas de secagem segundo processos cuidadosamente acompanhados para não depreciar o valor da madeira, com o objectivo de atingir o denominado equilíbrio higroscópico (fenómenos de absorção e dessorção atingem a mesma taxa).

A forma como o equilíbrio higroscópico se processa, consoante a humidade relativa e a temperatura ambiente, é representado em curvas higrométricas. Normalmente, para o nosso clima resulta que o teor de água ideal na madeira compreende-se entre 14 e 16%. Estes valores não são absolutos para todas as

espécies, sendo que o importante é que o teor de água seja o mais próximo possível do teor de equilíbrio com as condições locais.

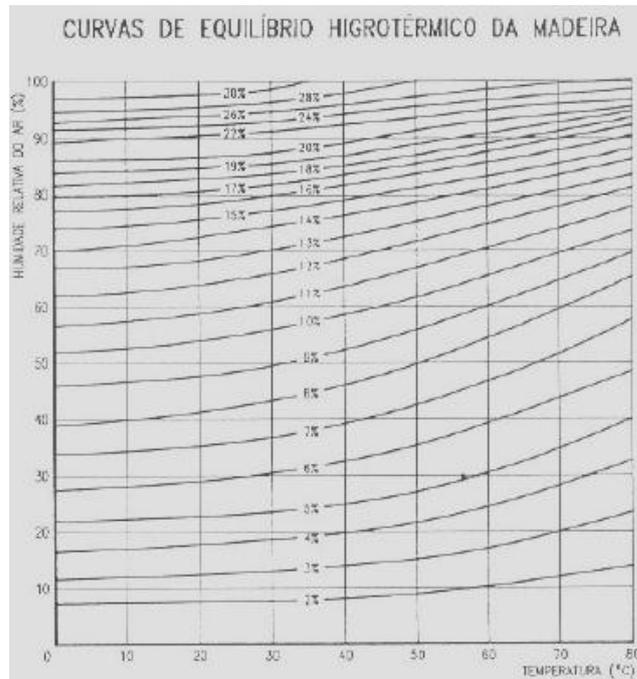


Fig.3.3 – Curva Higrométrica [7]

A colocação em obra de madeira demasiado húmida ou demasiado seca pode levar à fendilhação, abertura de juntas, empenamento ou até arrancamento.

O teor em água é igualmente muito relevante para a resistência mecânica da madeira. A resistência varia de forma inversamente proporcional ao teor de água, para valores abaixo do PSF, sendo no entanto um fenómeno reversível. Este facto deve ser tomado em conta nos cálculos de resistência de uma estrutura, principalmente na fase de montagem, se a madeira está exposta à chuva.

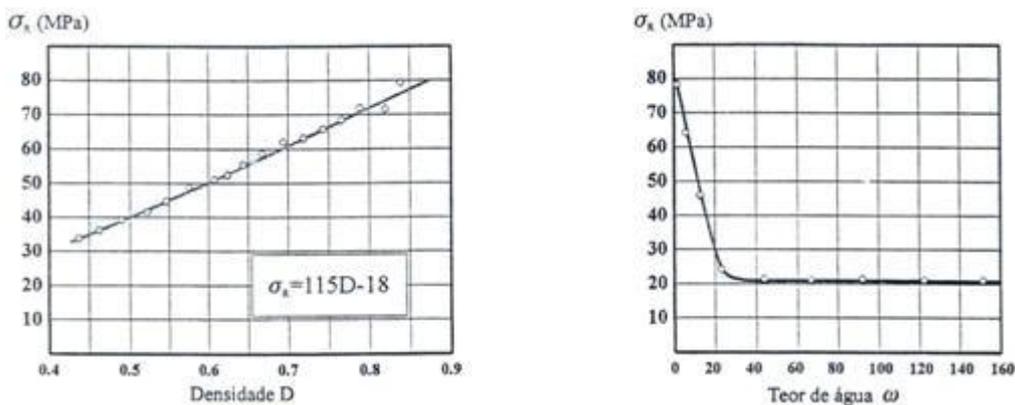


Fig.3.4 – Variação da tensão de rotura  $\sigma_x$  com a densidade do material e o teor de água [24]

A resistência mecânica da madeira é no entanto afectada por outros factores. Em primeiro lugar é afectada pela espécie florestal e pela qualidade das peças, nomeadamente no que refere aos defeitos já enumerados. Estes factores definem os valores característicos de resistência.

O tempo de actuação das cargas interfere também na resistência das madeiras, fazendo-a diminuir de uma forma aproximadamente linear. Este factor é relevante pois cargas abaixo do limite de rotura podem fazer ruir uma estrutura ao fim de um certo tempo. Para acautelar os efeitos do tempo de actuação e do teor de água, é comum utilizar factores correctores, sendo que no Eurocódigo 5 [26] este é denominado  $k_{mod}$ .

As características enunciadas são assim relevantes quando se pretende utilizar a madeira para fins estruturais. Para avaliar a aptidão das madeiras e a sua qualidade, são utilizados normalmente dois sistemas de classificação: mecânica e visual.

O sistema de classificação visual é muito utilizado nos países desenvolvidos sendo que não existe uma norma em conformidade para todos eles, variando de país para país, sendo suportadas pelas práticas tradicionais e adaptadas às espécies existentes em cada país. Em Portugal, existe uma norma, NP 4305 [27], que tem o intuito de classificar a espécie mais comum no nosso solo, o Pinho bravo (*Pinus Pinaster*, Ait).

O sistema de classificação mecânica baseia-se na determinação dos valores característicos da resistência de ensaios, englobando-os em classes de qualidade. A norma europeia que classifica a madeira maciça é a EN 338 [28] e, em Portugal, o LNEC publicou um documento com as classes referentes à espécie mais comum já referida [29].

Estes sistemas têm em comum o facto das classes de qualidade serem definidas por valores máximos admissíveis de defeitos avaliados visualmente. São normalmente utilizadas, dependendo do grau de exigência de avaliação. A classificação visual é mais simples e economicamente viável, mas não tão rigorosa e depende claramente do classificador, sendo por isso pouco objectiva.

Existem, no entanto, outras patologias e anomalias associadas à madeira, como os ataques ambientais, segurança contra incêndios, agentes biológicos, fungos, acções mecânicas, que provocam degradação e diminuição das capacidades da madeira.



Fig.3.5 – Degradação do rodapé por acção de fungos [7]

Estes agentes, embora gravosos, são mais facilmente controláveis pois existem métodos que permitem mitigar fortemente as suas acções nocivas. A aplicação de produtos de revestimento, tintas, vernizes, com determinadas propriedades (repelentes, hidrófugos, etc.) permite uma protecção eficaz contra estes ataques exteriores, necessitando apenas de uma manutenção atenta e capaz dos elementos em madeira. Além disso, muitos destes factores estão interligados com a humidade da madeira, sendo que um controlo da mesma (valor habitual recomendado é abaixo de 20%) [7] reflecte-se numa não manifestação das patologias provocadas por estes agentes.

A madeira tem mau desempenho face ao fogo pois é um material combustível. Este facto não é tão gravoso como aparenta pois, durante a combustão, forma-se uma camada de carvão superficial que tem boas propriedades isolantes, impedindo a subida de temperatura do material no seu interior, retardando a combustão e podendo até levar à sua extinção.

A taxa de carbonização da madeira é praticamente independente da gravidade do incêndio se este for sustentado, o que depreende que a resistência ao fogo esteja directamente relacionada com a superfície específica. Assim, uma forma de prevenir anomalias nas estruturas é a utilização de peças com grande secção transversal, que aumentam significativamente a segurança contra o fogo ou, como nas anomalias anteriores, a utilização de revestimentos ou tintas com bom comportamento ao fogo.

### 3.3. DERIVADOS DA MADEIRA

Os derivados de madeira, como já foi referido, apresentam actualmente um papel muito relevante na indústria da construção. Esse papel tem vindo a aumentar e a consolidar-se gradualmente, estando este facto patente no capítulo anterior, através do incremento da referência aos mesmos nos sistemas mais recentes.

Os derivados podem ser distinguidos conforme o seu papel na indústria de construção. Efectivamente, alguns destes materiais permitiram o alargamento do âmbito de aplicação das madeiras na construção através da maior procura de soluções para grandes áreas e pequenas espessuras, como os contraplacados, aglomerados de fibras e os aglomerados de partículas em todas as suas variedades, e materiais que têm como objectivo ser um substituto viável da madeira maciça, tendo o mesmo âmbito de utilização, como a madeira lamelada-colada e o LVL.

Estes derivados sendo objecto de fabrico, e com objectivos e propriedades divergentes da madeira tradicional, distanciam-se em certa medida da madeira maciça obedecendo a regulamentação e normas distintas das referenciadas no ponto anterior.

Os derivados aqui apresentados são talvez os mais comuns na indústria da construção, sendo que existem outros como folheados, cortiça, termolaminados, madeira reconstituída, e variantes muito específicas dos aqui enunciados, que pela sua especificidade não acrescentariam valor a esta exposição. Os derivados considerados mais relevantes são os apresentados nos pontos seguintes.

#### 3.3.1. CONTRAPLACADO

Material constituído por um número ímpar de folhas colocadas umas sobre as outras, sobre pressão, segundo ângulos determinados e simetricamente em relação à folha central. [5]

É formado por três elementos: a folha, a alma e a cola. A folha é obtida por “desenrolamento” ou serração de um pedaço de madeira (toro) após se ter feito um corte nesse pedaço; a alma é a camada central do contraplacado com espessura superior às folhas que a revestem, sendo a cola o que aglutina as camadas entre si.



Fig.3.6 – Representação da alma num contraplacado [7]

Estes materiais são interessantes porque na sua constituição pode-se usar não apenas as lenhas e os toros mas também desperdícios e aparas, resultantes da serração, permitindo uma otimização do uso da matéria-prima, tornando o processo vantajoso economicamente e em termos ambientais.

Os contraplacados são também interessantes por apresentarem elasticidade e peso semelhantes aos das madeiras maciças, mas devido à nova orientação das fibras ostentam maior resistência à flexão, maior homogeneidade e conseqüentemente maior estabilidade estrutural.

Estes são extremamente versáteis pois, dependendo das madeiras e das resinas utilizadas, podem ser soluções muito interessantes para revestimentos interiores (decoração) e também exteriores, com ganhos significativos em termos higroscópicos, e também no comportamento face ao fogo e ao envelhecimento através de processos de impregnação.

De uma forma geral, são classificados como tendo mais vantagens que os aglomerados pois podem ser utilizados em ambientes mais severos, sendo que esta análise deve ser validada caso a caso.

As características e especificações para construção utilizando contraplacados, incluindo marcações, estão patentes na norma europeia EN636. [31]



Fig.3.7 – Contraplacado [30]

### 3.3.2. CONTRAPLACADO LAMELADO

Painéis constituídos por régua de madeira maciça cujo veio é cruzado com o da folha de madeira adjacente. [30]

Os lamelados, devido às suas características físicas, boa resistência mecânica e baixa densidade, são muito interessantes para a indústria de mobiliário, nomeadamente os laminados decorativos de alta pressão, e também para carpintaria interior e revestimento de pavimentos.

Habitualmente, este derivado é produzido em painéis de 2500x1250 mm com espessuras compreendidas entre 16 e 30 mm.



Fig.3.8 – Lamelado [32]

### 3.3.3. AGLOMERADO DE FIBRAS DE MÉDIA DENSIDADE (MDF)

Painel de madeira produzido com fibras de madeira, que depois de fragmentadas e desfibradas são misturadas com uma resina especial segundo um processo termo-mecânico. [5]

Os aglomerados têm como principais características apresentarem, superfícies mais lisas, a possibilidade de aplicação de um revestimento de forma directa e extremidades sólidas e com bordas de protecção. Assim, o seu acabamento pode ser em cru, com revestimento a madeira ou melamina, tendo os mais variados aspectos. Na figura 3.9 são visíveis painéis coloridos obtidos por impregnação das partículas que são depois aglutinadas.

O MDF tem visto o seu consumo mundial aumentar continuamente, pois é inteiramente indicado para a utilização em pavimentos ou mobiliário, uma vez que possui boas características de resistência à humidade e ao fogo, apresenta baixa densidade e é de fácil moldagem e lacagem, apresentando-se como o produto capaz de tomar o papel de substituto natural da madeira maciça.

Este aglomerado tem um grande número de variantes com as especificidades ditadas pelo fim a que está destinado, como por exemplo, MDF standard, MDF de baixa densidade e MDF resistente à humidade (MR) para os vários tipos de mobiliário, MDF pavimentos e pavimentos resistentes à humidade, para utilização em pavimentos, e MDF moldável, para obtenção de peças curvas.

Os aglomerados de fibras são regulamentados pela norma EN 622 [33] que estabelece as exigências mínimas para o tipo de utilização pretendido e o ambiente existente.



Fig.3.9 – Painéis de MDF com acabamento em madeira e coloridos [30]

### 3.3.4. AGLOMERADO DE PARTÍCULAS LONGAS E ORIENTADAS (OSB)

Os painéis de OSB (“Oriented Strand Board”) são obtidos por sobreposição de três camadas de lâminas de madeiras longas, orientadas de forma perpendicular umas em relação às outras. [5]

Estes aglomerados apresentam valores muito bons do módulo de elasticidade e de resistência à flexão, sendo assim indicados quer para fins estruturais, quer não estruturais. A sua versatilidade permite um grande leque de soluções, nomeadamente no que respeita a paredes, garantido uma boa estabilidade e resistência, a baixos preços e de fácil utilização.

O bom comportamento face à humidade torna este material indicado para utilização também em pavimentos, independentemente da agressividade do meio, e conjugando com a boa resistência mecânica permite uma eficaz utilização em estruturas pesadas de suporte de telhados. De modo a facilitar a sua utilização neste tipo de estruturas, é frequentemente conjugado com madeira maciça como no caso das vigas em I explicitadas adiante.

Além das propriedades estruturais, devido ao seu padrão natural em madeira, da facilidade de envernizamento e capacidade de adoção de outras texturas, este produto é muito utilizado para revestimento de pavimentos e paredes, mas também para estabilização térmica das habitações, apresentando características extremamente competitivas.

Os painéis OSB estão regulamentados pela norma EN 312 (aglomerados de partículas). [34]



Fig.3.10 – Painel de OSB e uma das correntes aplicações [35]

### 3.3.5. AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS

Denominam-se aglomerados de partículas os painéis produzidos à base de partículas que, depois de separadas em diversas geometrias, são aglutinadas através de uma resina UF por processo termo-mecânico. Este derivado é caracterizado pela existência de três camadas, sendo a sua superfície macia, uniforme e plana. [30]

É provavelmente o derivado de madeira mais comum, sendo utilizado em muitas vertentes da construção civil, devido à sua versatilidade. Apresenta um comportamento equilibrado tanto em condições secas como quando existe a possibilidade de humidade ou fogo.

Apresenta no entanto maus comportamentos quando em contacto com água líquida ou atmosferas com elevados valores de humidade (existem alguns tipos de aglomerados que se apresentam como excepções).

Os aglomerados necessitam de cuidados especiais aquando da sua colocação em obra. As ligações devem ser afastadas dos extremos dos painéis para não diminuir a sua resistência, evitando-se a pregagem em detrimento da utilização de parafusos com grande comprimento, devendo estes não ser aplicados directamente, quando as cargas forem elevadas. Se as ligações forem feitas com cola os cantos devem ser forrados com ripas de madeira maciça.

Outra exigência associada a este derivado, é que em caso de utilização de revestimento com pinturas ou folheados, este terá de ser feito por ambas as faces para evitar empenamentos devido a secagens diferenciais.

Analogamente ao verificado com os painéis OSB, os aglomerados de partículas são regulamentados pela norma EN 312 [34].



Fig.3.11 – Aglomerado de partículas [30]

### 3.3.6. CARTÃO PRENSADO (PLATEX)

São placas obtidas através de fibras de madeira resinosa comprimidas a altas temperaturas e elevadas pressões e tratadas em câmaras especiais. São constituídas por fibras celulósicas cujas propriedades adesivas permitem uma boa aglutinação entre os materiais. [5]

É um dos derivados mais antigos, apresentando uma face lisa e outra rugosa, normalmente com cor castanha escura ou branca. Aplica-se normalmente em revestimentos interiores e em mobiliário económico, mas apresenta pouca durabilidade e resistência.

Este derivado tem como particularidade o facto de necessitar de humidificação previamente à sua aplicação. Assim, deve-se humidificar a face rugosa do material, 24 a 48 horas antes da sua utilização em obra, devendo ficar armazenado, face rugosa contra face rugosa, para evitar a humidificação da face lisa.



Fig.3.12 – Platex [5]

### 3.3.7. LVL – “LAMINATED VENEER LUMBER”

O LVL é um material obtido recorrendo a camadas de madeira finas, aglutinadas com recurso a produto adesivo. É um derivado adequado ao uso estrutural que permite a obtenção de elementos de grande secção transversal e comprimento, aliviando assim o abate de árvores com características muito específicas e que em muitos casos são impossíveis de obter por limitações naturais do processo de crescimento. [36]

Relativamente à madeira maciça, apresenta como principais vantagens a maior uniformidade do material, maior resistência e a execução de painéis sem fibras curvas, mais lineares, que se traduz numa maior estabilidade dimensional (empenamentos e variações dimensionais).

Este derivado tem como valores de referência habituais para módulo de elasticidade e tensão admissível de flexão, aproximadamente, 12.000 a 14.000 MPa e 19 a 21 MP, respectivamente.

Esteticamente, é muito semelhante aos contraplacados e apresenta variantes obtidas a partir de lâminas de menor dimensão (LSL) que têm características semelhantes ao OSB. Este derivado é regulamentado pela norma EN 14279 [37].



Fig.3.13 – Painéis de LVL [38]

#### 3.3.8. MADEIRA LAMELADA COLADA

A madeira lamelada colada é obtida pela colagem de lamelas de madeira sobrepostas topo a topo, sendo que a emenda do topo é feita por tábuas de madeira de 2 ou 3 mm de espessura, constituindo elementos rectos ou curvos. O objectivo é o de obter peças de maiores dimensões e com melhores propriedades mecânica, semelhante ao verificado com os painéis de LVL, sendo que este material é manifestamente mais conhecido que o anterior. [7]

No processo de produção deste material o tipo de cola utilizado é fundamental, pois tem de possuir boas características mecânicas e resistência à humidade, elevada durabilidade e bom comportamento ao fogo. A produção é assim um procedimento delicado, devendo o controlo de qualidade cumprir o disposto na norma EN 386 [39].

Este derivado, mantendo os conceitos básicos da madeira no que respeita principalmente à higroscopicidade e durabilidade, está limitado no que diz respeito às espécies passíveis de emprego na sua produção, de tal forma que a acção da humidade e das cargas actuantes têm as mesmas considerações no Eurocódigo 5 [26] que as madeiras maciças (parâmetro  $k_{mod}$ ).

No entanto, a maior homogeneidade, conseqüente maior estabilidade dimensional, e ausência de defeitos, promovem um certo distanciamento da madeira maciça, tendo sido desenvolvido um novo sistema de classificação baseado nas resistências e que está estabelecido na NP EN 1194 [40]. O gráfico seguinte mostra como variam as tensões resistentes da madeira lamelada colada e da madeira proveniente de árvores resinosas (C) e folhosas (D), consoante a densidade do material. O quadro da figura 3.15 mostra os valores característicos das propriedades associadas a cada classe resistente, segundo a NP EN 1194.

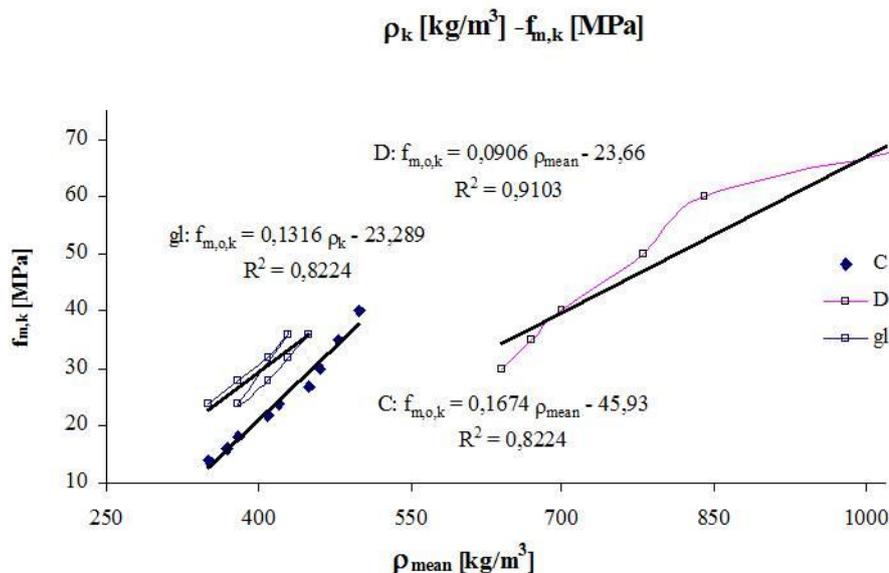


Fig.3.14 – Gráfico de comparação das resistências madeira maciça\_ lamelado colado [24]

Madeira Laminada-colada homogênea e combinada									
Valores característicos das propriedades associadas a cada Classe Resistente									
Propriedades		Classe Resistência				Classe Resistência			
		GL24h	GL28h	GL32h	GL36h	GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
<b>Resistência, em N/mm<sup>2</sup></b>									
Flexão	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36	24	28	32	36
Tracção paralela	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26	14	16,5	19,5	22,5
Tracção perpendicular	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6	0,35	0,4	0,45	0,5
Compressão paralela	$f_{t,0,g,k}$	24	26,5	29	31	21	24	26,5	29
Compressão perpendicular	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6	2,4	2,7	3,0	3,3
Cortante	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3	2,2	2,7	3,2	3,8
<b>Rigidez, em kN/mm<sup>2</sup></b>									
Módulo de elasticidade paralelo médio	$E_{0,g,médio}$	11,6	12,6	13,7	14,7	11,6	12,6	13,7	14,7
Módulo de elasticidade paralelo 5º percentil	$E_{0,g,k}$	9,4	10,2	11,1	11,9	9,4	10,2	11,1	11,9
Módulo transversaç médio	$E_{90,g,médio}$	0,39	0,42	0,46	0,49	0,32	0,39	0,42	0,46
Módulo de elasticidade perpendicular médio	$G_{g,médio}$	0,72	0,78	0,85	0,91	0,59	0,72	0,78	0,85
<b>Densidade, em kg/m<sup>3</sup></b>									
Densidade característica	$\rho_{g,k}$	380	410	430	450	350	380	410	430

Fig.3.15 – Características da madeira lamelada colada, GL24 a GL36, combinada e homogênea [41]

A sua aplicação tem alguns problemas e como tal, algumas precauções devem ser respeitadas. As ligações não são de fácil execução devido à sua complexidade, e existe dificuldade de transmissão de esforços ao nível das fundações. Por outro lado, é necessário um controlo da humidade da madeira quando colocada em obra pois, se esta for elevada pode provocar fendilhação devido aos processos de

retração. Menos usual é a descolagem das lamelas em soluções curvas ou mais complexas, sendo que este defeito pode ser acautelado na produção.

A sua utilização é predominantemente de ordem estrutural sendo que as figuras a seguir demonstram a utilidade deste material. Como exemplo, pode-se assinalar a existência de sistemas patenteados em que a utilização de madeira lamelada colada em vigas é muito bem conseguida. A versatilidade de utilização permite a execução de soluções complexas e com vãos elevados (mais de 10 metros), sendo que as dimensões podem variar das dezenas às centenas de milímetros em espessura e largura.

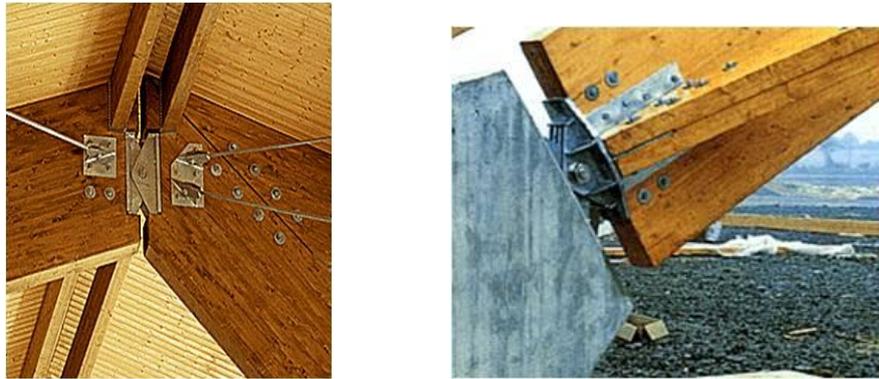


Fig.3.16 – Pormenor de ligação e apoio [24]



Fig.3.17 – Aplicações de madeira lamelada colada [42] [24]



# 4

## SISTEMAS CONSTRUTIVOS PREFABRICADOS EM MÓDULOS DE MADEIRA

### 4.1. INTRODUÇÃO

Os sistemas apresentados neste ponto têm como objectivo constituir uma amostra significativa das soluções em módulos prefabricados a nível nacional e da Europa. Estes foram escolhidos entre numerosos sistemas existentes segundo critérios de fiabilidade, versatilidade, inovação ou especificidades que os destacassem dos demais.

Por fiabilidade dos sistemas, entende-se a certificação ou homologação dos sistemas construtivos ou processos/métodos de trabalho que permitam confirmar a qualidade dos serviços prestados e as mais-valias técnicas que os produtores ou distribuidores declaram existir.

A versatilidade, inovação e especificidade de um sistema, é avaliada pelas soluções apresentadas, pela dinâmica de utilização, e por detalhes da avaliação técnica que sobressaiam sobre outros candidatos.

### 4.2. AGEPAN – SONAE SIERRA

A Sonae Sierra é uma empresa fundada em solo nacional, há mais de duas décadas (fundada em 1989), actualmente detida em partes iguais pela Sonae SGPS e pela britânica GROVESNOR. É uma empresa especializada na construção, promoção e gestão de centros comerciais, estando o âmbito de operação alargado à Europa e Brasil onde são proprietários de 52 centros comerciais. [43]

O sistema construtivo em estudo, desenvolvido e utilizado pela Sonae, adoptou o nome do material, que é simultaneamente o cerne deste sistema e um derivado da madeira desenvolvido pela mesma empresa. Este sistema, relativamente à classificação proposta para sistemas modulares, é feito por painéis de pequenas dimensões ou de grandes dimensões, dependendo do projecto.

O derivado AGEPAN DWD consiste em folhas de fibra de madeira feitas a partir de madeiras de árvores coníferas da Europa adicionando pequenas quantidades de substâncias ligantes (< 3%) e parafina. Estes aditivos potencializam o aumento de resistência e da estabilidade estrutural quando o material fica exposto à humidade. A superfície obtida por pressão actua assim como uma segunda camada resistente à água.



Fig.4.1 – Painel de AGEPAN e exemplo de aplicação [43]

O derivado é permeável ao vapor, sendo ideal para a construção de secções transversais totalmente isoladas permitindo que estas secções sejam classificadas como classe 0, como está definido na norma DIN 68800. Esta norma trata os limites de certas propriedades da madeira, como a humidade relativa recomendada nos elementos, a conservação das propriedades químicas da madeira, protecções contra insectos, sendo a classe 0 a melhor classificação possível neste sistema. No entanto a obtenção desta classificação não está apenas dependente do material em análise mas também da correcta colocação em obra e da manutenção posterior. A norma está explicitada e discutida em [44].

Este material é indicado não só para a execução dos paramentos verticais mas também nas coberturas. A forma como trabalha num telhado é semelhante ao funcionamento de alguns têxteis. Assim, permite que o vapor e humidade façam o percurso do interior para o exterior mas não permite que a humidade exterior penetre para o interior. Este facto é extremamente relevante no acautelamento das condensações interiores. As propriedades conferidas pelos ligantes tornam também as folhas estanques ao vento e ar frio, aumentando a eficácia do isolamento térmico instalado.

Quanto à resistência mecânica, é necessário referir que estas placas podem ser seguramente pisadas quando se encontram secas e colocadas sobre vigas com espaçamento até 1 metro. Não é aconselhável andar sobre as mesmas na presença de chuva, humidade ou quando o sistema de apoio é do tipo flutuante pois não está garantida a segurança.

O sistema é leve e os tamanhos foram pensados de forma a ser adequados a um bom ritmo de trabalho, para rápida execução dos mesmos. As ligações são realizadas segundo um sistema macho-fêmea otimizado para este produto, nos quatro bordos laterais das placas, existindo também a opção de corte recto. As dimensões das folhas para entrega, em mm, são de 2500 x 1000 e 2500 x 625 para a solução macho-fêmea e de 2800 x 1247 para o corte recto.

Este sistema é então indicado para coberturas pois, utilizando um isolamento térmico contínuo e de boa qualidade, aumenta a eficiência do isolamento térmico e evita as perdas de calor por convecção. Permite de igual forma dispensar a camada para ventilação e a camada impermeabilizante. A aplicação deste sistema deve sempre estar de acordo com as normas referentes às funções das coberturas em cada país.

A protecção do ambiente é uma grande preocupação deste grupo empresarial. De tal forma que, em 2008, a sucursal Sonae Sierra recebeu o “Green Thinker Award” devido ao trabalho desenvolvido no projecto Centro Verde ou “Green Center” que visa a construção e desenvolvimento de centros

comerciais consagrando estratégias de responsabilidade ambiental e do domínio da sustentabilidade. O material AGEPAN partilha dos mesmos princípios não tendo na sua constituição formaldeído e sendo aglutinado com resinas de poliuretano (PUR), tendo assim as características normais da madeira natural. Este derivado tem o selo de qualidade dos alemães Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt e.V., sendo a qualidade dos produtos verificada regularmente pelo instituto independente de testes HFB em Leipzig e pela Glunz (Grupo Sonae).

O quadro 4.1 mostra uma síntese de propriedades já referidas em texto e outras relevantes para caracterizar o material em estudo, cuja constatação facultou a aprovação do AGEPAN DWD pelas autoridades de construção alemãs (Aprovação Z-9,1-382).

Quadro 4.1 – Folha de propriedades do AGEPAN DWD [43]

Propriedades	Normas	Valor
Espessura nominal (mm)		16
Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	EN 323	540-590
Coefficiente de condutividade $\lambda_R$ (W/mK)	DIN 4108 T2	0.09
Factor de resistência de difusão ao vapor $\mu$	DIN 52615	≈ 11
Espessura equivalente da camada de ar $s_d$ (m)		0.18
Classe do material	DIN 4102 T1	B2 (normalmente inflamável)
Segurança de circulação		Apenas quando seca (não flutuante) e vigas com espaçamento inferior a 1 metro
Espaçamento recomendado entre vigas (mm)		500, 625, 833, 1000
Colagem		Sem formaldeído e com resinas de poliuretano
Teor de Humidade (%)	EN 322	9 ± 4
Aumento de volume após imersão em água por 24h (%)	EN 317	≤ 8,5
Uniformidade da espessura (mm)		+/- 0,8
Tolerância do comprimento/largura (mm)		+/- 3
Esquadria		2 mm a 1000 mm de comprimento
Deformação linear (comprimento/largura) (mm)		0.30, com HR entre 30-85%, 20° C

A figura 4.2 ilustra o âmbito de aplicação do sistema e o aspecto final do material AGEPAN em centros comerciais que são propriedade do grupo Sonae, em Brasília, Brasil e Viana do Castelo, Portugal.



Fig.4.2 – Fachada do Shopping Pátio Brasil, em Brasília e interior do Shopping Estação Viana, em Viana do Castelo [43]

### 4.3. TREEHOUSE – JULAR

A Jular – Madeiras S.A., é uma empresa familiar com mais de 35 anos (fundada em 1973), que iniciou a sua actividade na área da promoção imobiliária, comércio de materiais de construção e importações de madeiras de Angola, tendo-se especializado na área das estruturas de madeiras há mais de uma década, para responder à crescente procura no mercado. [23]

A TreeHouse [45], aqui em estudo, é um novo conceito de construção desenvolvido pela Jular que procura combinar sustentabilidade e modulação. O sistema construtivo em análise recorre assim em grande parte à modulação tridimensional, sendo os módulos produzidos nas instalações da empresa na Azambuja.

A construção módulo a módulo foi pensada de forma a traduzir uma solução arquitectónica contemporânea (Appleton & Domingos – Arquitectos, Lda.), depurada e funcional. Assim, a tipologia base permite facilmente obter uma configuração dos módulos que seja satisfatória, tendo em conta as necessidades dos clientes.

Os módulos tridimensionais modelo, propostos pela Jular, apresentam áreas de 22 m<sup>2</sup> e são agrupados entre si lateralmente e superiormente. Existem 15 versões de módulos isolados:

- 2 módulos do núcleo (N1 - cozinha e instalações sanitárias e N2 – instalações sanitárias e escadas);
- 5 módulos de quartos (o módulo Q4 é suite);
- 1 módulo de instalações sanitárias, indicado para soluções com pelo menos 3 quartos;
- 3 módulos de salas (uma sala base, um módulo de extensão da área da sala e um para sala de jantar);
- 2 módulos de pátios (um pátio base e um módulo de extensão do mesmo);
- 1 módulo da garagem;
- 1 módulo de lavandaria.

Estes módulos estão disponíveis no sítio da Internet da treehouse [45], onde é permitido ao cliente testar as potencialidades da modulação tridimensional procurando a combinação que mais agrade ou melhor responda às suas necessidades.

Paralelamente, a empresa apresenta as plantas de 28 soluções construtivas disponíveis (23 com apenas um piso e 5 com dois pisos) em alternativa para os clientes que não demonstrem interesse em compor pessoalmente a sua habitação. As plantas disponíveis estão assim distribuídas e classificadas tendo em conta o número de quartos:

- 1 T0;
- 2 T1;
- 5 T2 (uma solução com 2 pisos);
- 11 T3 (uma solução com 2 pisos);
- 9 T4 (três soluções com 2 pisos).



Fig.4.3 – Exemplo de módulo isolado, sala de jantar – S3, e de uma planta disponível, T1.B [45]

Além da disposição construtiva da casa, o cliente pode escolher o acabamento que mais lhe agrada. Neste campo a Jular oferece quatro opções distintas. Pode optar-se por um revestimento em OSB cru (ver 3.3.4) para o cliente colocar um acabamento à sua escolha, ou revestimentos na gama “*pinus*” (pinheiro), “*birch*” (bétula) ou sucupira (árvore comum e proveniente do norte do Brasil).

Quanto ao impacto no local onde vai ser implantada a habitação, a Jular defende que estes são mínimos. Efectivamente, a habitação é colocada sobre estacas ou sobre pequenas fundações ficando ligeiramente acima do solo. A montagem dos módulos, individualmente, é realizada em fábrica sendo estes transportados em camiões, devidamente protegidos contra os agentes exteriores e colocados em obra através de uma grua, como é visível na imagem 4.4.



Fig.4.4 – Colocação dos módulos em camiões para transporte e Implantação do módulo com recurso a grua [23]

A utilização de módulos estandardizados permite uma rapidez de execução não alcançável nos processos tradicionais no nosso país, um maior controlo da qualidade, menos custos com mão-de-obra e diminui a quantidade de trabalho e o número de deslocações à obra. Os processos tradicionais apresentam desperdícios na ordem dos 20-30% enquanto neste sistema essa percentagem é reduzida a 2%. [45]

A TreeHouse apresenta como outro ponto forte as claras preocupações ambientais e estratégias de sustentabilidade. Os materiais utilizados são ecológicos, obtidos de florestas certificadas e com uma gestão sustentada. Paralelamente, existe uma grande procura de soluções que reduzam o consumo de energia e o tratamento de efluentes.

Os materiais utilizados, texturas e acessórios são produtos na vanguarda do progresso no que às construções em madeira diz respeito. Os produtos utilizados na Treehouse são: Kerto<sup>®</sup>, Thermowood e vigas “Finnjoist”, da Finnforest e, OSB e ligadores metálicos Simpson Strong-Tie<sup>®</sup>.

O Kerto [46] é um derivado da madeira com uma grande resistência. É constituído por lâminas de abeto de 3mm de espessura que são desenroladas e posteriormente coladas a quente. Este produto permite a construção de estruturas mais arrojadas do que é habitual em madeira.

Dependendo da orientação das lâminas, longitudinalmente ou perpendicularmente, o Kerto permite a obtenção de grandes vãos com deformações mínimas (orientação longitudinal – Kerto-S), importantes nas habitações unifamiliares, ou a obtenção de resistências transversais superiores (orientação perpendicular – Kerto-Q), melhorando a resistência a cargas verticais, e permitindo a utilização dos painéis como contraventamento, aumentando a estabilidade estrutural. As propriedades físicas deste material e maiores especificações podem ser obtidas em [46].

Thermowood é igualmente um composto obtido a partir da madeira que, sujeita a tratamentos térmicos, adquire novas propriedades físicas. Comparativamente à madeira da qual é obtida (podem ser vários tipos), esta apresenta melhor capacidade isolante, maior durabilidade e maior estabilidade estrutural. Além disso, a resina e os nutrientes são eliminados, prevenindo o aparecimento de fungos e podridão e é atingido um maior equilíbrio de humidade. Pelas suas características, é principalmente utilizado no exterior.

As vigas Finnjoist são uma parte relevante do processo de construção merecendo uma breve exposição. As vigas têm perfil em I sendo o banzo feito em Kerto-S e a alma em OSB. Esta solução é

interessante pois têm maior resistência permitindo vencer vãos maiores, e são leves o que facilita a sua instalação.

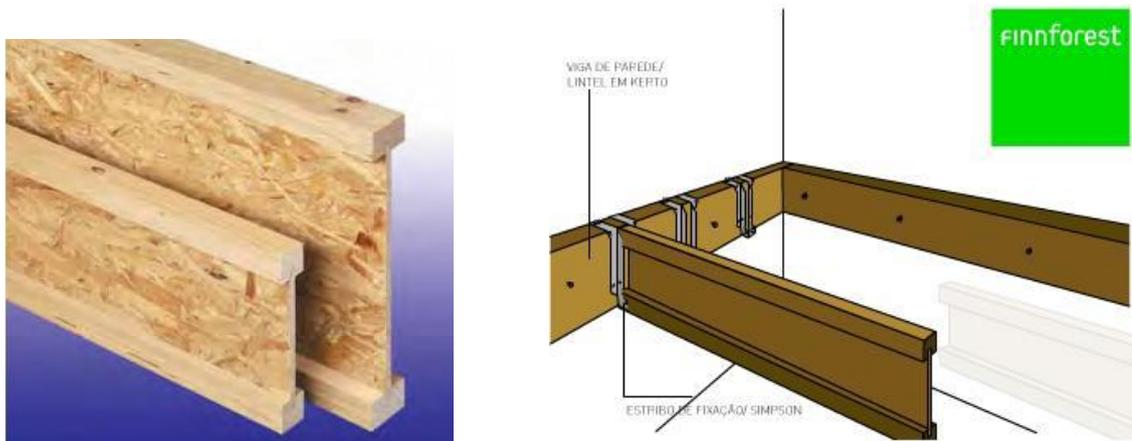


Fig.4.5 – Vigas Finnjoist e esquema de colocação utilizando estribo de fixação Simpson [23]

O derivado OSB já foi apresentado em 3.3.4 e os ligadores metálicos são responsáveis por acoplar toda a estrutura.

Acerca do sistema é pertinente referir que este apresenta boas performances ao nível do isolamento térmico e acústico, e que a estrutura leve em Kerto está concebida para ter bons desempenhos do comportamento sísmico.

O papel do cliente no licenciamento é também facilitado pela entrega dum dossiê com os projectos necessários, estando dependente dos requisitos das autarquias. O financiamento pode ser tratado como crédito à habitação pois a Jular tem protocolos celebrados com algumas instituições bancárias.

Os preços por módulo variam entre os 12.000 e os 25.000 euros, sendo o preço médio aproximadamente de 17.500. A diferença de preços é explicada pelo nível de especialização e pela quantidade de envidraçados, sendo que os preços podem ser revistos, consoante a inclusão de mobiliário e electrodomésticos, ou lareiras e soluções específicas.

Como exemplo do âmbito de actividade da empresa, é relevante e imperativo falar do Eco-Resort ZMAR [47], localizado a 13 quilómetros da Zambujeira do Mar, que é o primeiro parque ecológico de turismo da Península Ibérica.

O complexo engloba uma piscina de ondas, edifícios administrativos, um parque infantil, um supermercado e 98 casas montadas sobre estacas distribuídas por 81 hectares, e foi construído entre Setembro de 2008 e Maio de 2009.

O projecto inovador deste resort de 5 estrelas, devido aos seus materiais de excelência, consegue ter um saldo de carbono positivo (absorve dióxido de carbono da atmosfera) sendo já considerado uma referência quando se fala de construção sustentável e eficiência energética.



Fig.4.6 – Piscina de ondas do parque ZMAR [48]



Fig.4.7 – Casas de madeira no complexo ZMAR [23]

#### 4.4. KLH – TISEM

A TISEM é uma empresa sediada na Figueira da Foz, criada por jovens engenheiros empreendedores que viram na madeira a possibilidade de introduzir novas tecnologias que facilitam novas formas de construir e promovem inovação na área da construção. [22]

O sistema construtivo KLH é um sistema originário da Áustria, fabricado pela empresa KLH Massivholz GmbH que lhe dá o nome, tendo sido importado para Portugal e cuja representação está a cargo da TISEM.

O sistema tem como material base um laminado de madeira (X-LAM), produzido pela KLH a partir de lamelas de madeira de espruce (*picea abies*), coladas em estratos ortogonais. A madeira que dá origem ao X-LAM é proveniente de florestas em que são aplicados os princípios da sustentabilidade e onde é garantida a reflorestação após cada extracção, sendo este facto garantido pelo certificado PEFC.

Este produto tem a particularidade das lamelas serem dispostas longitudinalmente e transversalmente segundo uma grelha, como o ilustrado na figura 4.8, reduzindo as variações dimensionais e os empenamentos nesse plano. O sistema permite a transferência de cargas de formas diferentes: unidireccionais, como verificado em vigas ou pilares, ou bidireccionais como nas lajes. A colagem das

lamelas, à semelhança de sistemas anteriores, é feita recorrendo a poliuretanos isentos de elementos voláteis e de formaldeído.



Fig.4.8 – Lamelas em grelha, X-LAM [22]

Este material está disponível em várias espessuras, variando o número de camadas de lamelas, de 3 para espessuras mais pequenas, até 5 ou 7 para espessuras maiores. Para paredes, as camadas exteriores estão orientadas perpendicularmente ao comprimento produzido e para pavimentos, as camadas exteriores estão orientadas paralelamente ao mesmo. Esta disposição serve para potenciar ao máximo as propriedades resistentes e a melhor distribuição de forças.

O X-LAM apresenta acabamentos distintos (classes de qualidade) conforme seja intenção do cliente aplicar outros revestimentos ou não.

Os painéis X-LAM possuem Aprovação Técnica Europeia (ETA), que estabelece este produto como apto a ser utilizado em construção, e conseqüentemente permite que lhe seja aplicado o selo de qualidade – Marcação CE.

Estes painéis, formando elementos monolíticos, são cortados em fábrica segundo as especificações dos planos de pormenor, principalmente no que respeita às grandes aberturas (portas, janelas), formando assim módulos que podem ser englobados, segundo a classificação do capítulo 2, como de grandes dimensões.

Posteriormente são entregues em obra onde a equipa de montagem deverá estar pronta, seguindo um planeamento pormenorizado. O processo é assim programado para ser o mais célere possível. Uma moradia com 150 m<sup>2</sup>, com o planeamento correcto e a mão-de-obra especializada, consegue ser montada em menos de 12 horas.



Fig.4.9 – Colocação das paredes prefabricadas em obra [22]

Como a maior parte dos sistemas do género, é feito a “seco”, podendo assim outras especialidades (instalações técnicas e aplicações de revestimentos) serem realizadas precocemente em relação à construção tradicional. A instalação de tubagens e electricidade acontece através da abertura de rasgos executados facilmente por carpinteiros utilizando ferramentas habituais.

Relativamente às especificidades e características do sistema, é apropriado expor as mais relevantes deste sistema.

O conforto e isolamento térmico são excelentes, essencialmente devido à baixa condutibilidade do X-LAM (0.14 W/mk), que com uma espessura de 95 mm consegue cumprir os requisitos do RCCTE no que refere ao coeficiente U de referência. Este facto é justificável pelo país de onde o material é proveniente que, tendo um clima extremo, favoreceu o aperfeiçoamento desta característica. A colocação de isolamento, revestimento e a existência de espaço de ar pode facilmente originar um coeficiente de transmissão térmico de  $U=0,45\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ . É também garantida pelo fabricante a ausência de pontes planas e de pontes térmicas lineares para justificar um bom desempenho térmico.

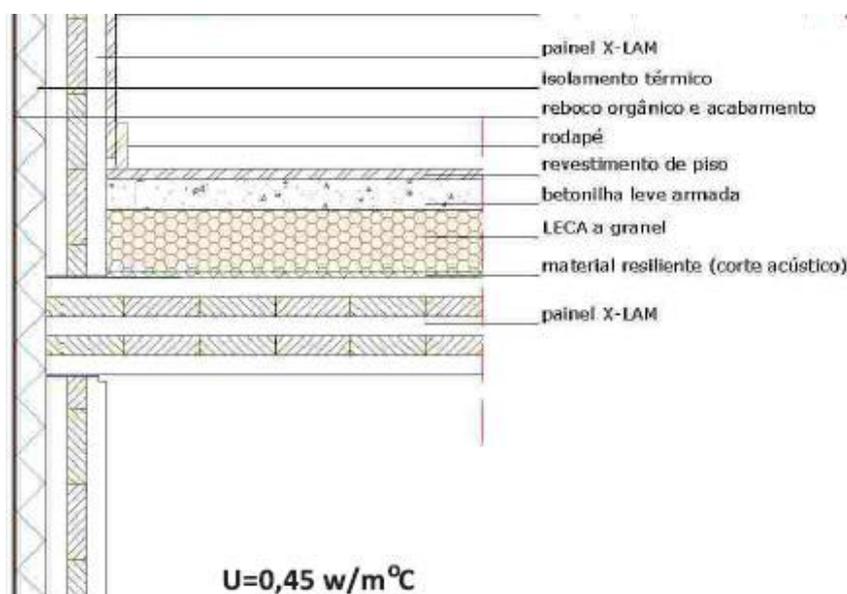


Fig.4.10 – Pormenor da ligação fachada-laje [22]

O X-LAM garante uma relação massa/robustez que confere ao sistema um óptimo comportamento face ao sismo que só é possível no sistema tradicional, recorrendo a tecnologia avançada que promove o isolamento pela base, sendo esta tecnologia dispendiosa.

O sistema, desprovido de vigas e pilares, e abundante em paramentos verticais, tem uma grande estabilidade e capacidade estrutural. Relativamente aos sistemas já referidos, este parece oferecer maiores garantias estruturais, sendo esta propriedade visível na vasta utilização de consolas e na existência de exemplos de estruturas com 9 pisos. Paralelamente, o sistema consegue responder às mesmas exigências que os sistemas tradicionais mas com elementos mais esbeltos, traduzindo-se esta propriedade em ganhos de área útil.

No que respeita à resistência ao fogo, os painéis de X-LAM de 3 camadas garantem uma estabilidade ao fogo de 30 minutos e os de 5 camadas, estabilidade de 60 minutos. Estes valores podem ainda ser acrescidos recorrendo-se à utilização de revestimentos.

O quadro 4.2 apresenta um resumo das propriedades referidas e outros parâmetros que ajudam a caracterizar o produto em questão.

Quadro 4.2 – Propriedades do X-LAM

Propriedades	Valor
Coeficiente de condutividade $\lambda_R$ (W/m.K)	0.14
Calor específico c (kJ/kg.K)	1.61
Aumento da condutividade térmica (%/ % humidade)	1.20
Factor de resistência de difusão ao vapor $\mu$	30 a 40
Classe de resistência ao fogo (sem aumento de espessura)	EF30 para 3 camadas, EF60 para 5 camadas
Isolamento sonoro mínimo para espessura de 94 mm (dB)	32

Este material tem algumas ressalvas. A sua utilização em locais expostos a ambiente exterior só consegue Aprovação Técnica com a fixação de revestimentos, não sendo preocupante, uma vez que a estabilidade e continuidade dos painéis naturalmente o permite.

O X-LAM também implica que o teor de humidade interior não desça prolongadamente abaixo de 40% o que pode originar variações dimensionais que originam a formação de fendas. Este problema em Portugal não é preocupante pois tal descida não é provável de acontecer. É necessária também a aplicação de tratamentos que protejam a madeira contra os agentes agressivos do ambiente.

Como exemplo da aplicação do sistema construtivo da KLH, é importante referir o edifício Murray Grove, em Hackney, Reino Unido, datado de 2008, que é o edifício para habitação em madeira mais alto do mundo. [4]

O edifício tem 9 pisos, sendo que o Rés-do-chão tem apenas comércio e escritórios, e é feito em betão armado, 8 pisos habitacionais foram erguidos utilizando o laminado de madeira X-LAM formam 29 apartamentos. O telhado do edifício é visitável e possui um terraço.

O tempo de conclusão da obra foi de 9 semanas, o que comparativamente à solução análoga em betão armado corresponde a uma redução de 20 semanas no tempo de construção, tendo sido realizada a montagem dos pisos superiores por uma equipa de 4 carpinteiros com ajuda de grua Torre.

Sobre o sistema é necessário referir que as paredes interiores apresentam todas funções de suporte, ficando os pisos apoiados em suportes contínuos (paredes), e que as paredes com capacidade de suporte têm resistência ao fogo R90 e R120 para caixa de escadas e elevador.

Este edifício, embora fora do âmbito da dissertação, habitação unifamiliar com um ou dois pisos, permite evidenciar as potencialidades dos novos materiais à base de madeira.

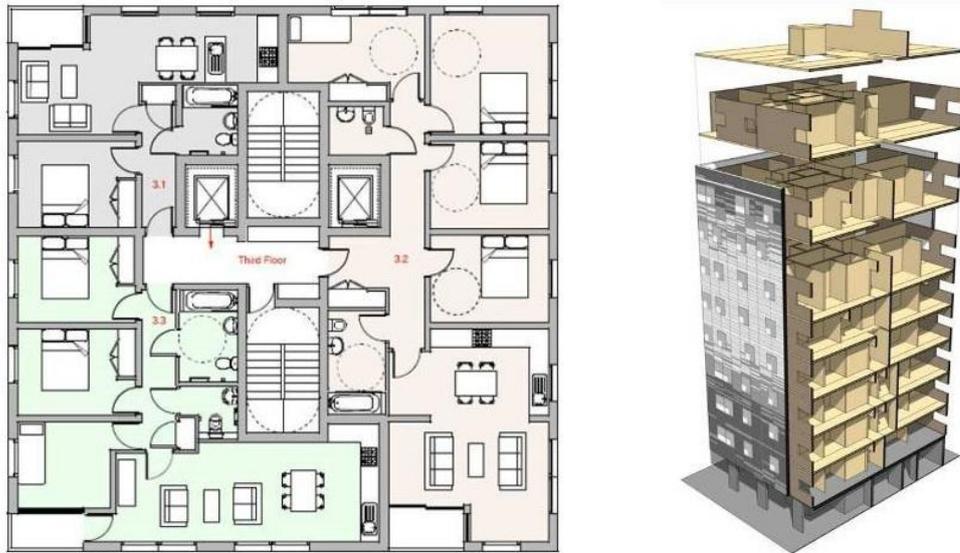


Fig.4.11 – Planta do 3º piso e perspectiva isométrica seccionada do edifício Murray Grove [22]



Fig.4.12 – Construção do edifício Murray Grove, com destaque para caixa de elevador e caixa de escadas, e aspecto final [22]

Nas palavras dos fornecedores, e parafraseando ligeiramente, a TISEM pretende crescer segundo princípios de sustentabilidade, “divulgar e aplicar um material nobre milenar em construção de qualidade, melhorando a construção em Portugal”. [22]

#### 4.5. LAPPONIA HOUSE – SPRING CONSTRUÇÕES, LDA.

A Spring Construções Lda. é uma empresa relativamente recente, fundada em 2004, sediada em Lisboa, cujos objectivos idealizados passam pela execução de construções modernas e de futuro e na recuperação de casas mais antigas. [49]

O sistema construtivo Laponia House, à semelhança do anterior, foi importado para Portugal a partir de um país onde a indústria das construções em madeira é consideravelmente mais competitiva que o

verificado no mercado nacional. As casas de madeira Lapponia House têm a sua origem na Finlândia, onde a empresa que lhes deu o nome está sediada, sendo que em Portugal são representadas pela Spring Construções, Lda.

As casas têm como base as estruturas Thermo Log que datam do início da época de 80 tendo sido aperfeiçoadas até aos nossos dias. A estrutura Thermo Log foi testada pelos laboratórios do VTT (instituto de pesquisa técnico finlandês) onde foram realizados testes de controlo de qualidade tendo sido atribuído o mais forte certificado da Finlândia (atribuído a empresas AAA e AA+ que correspondem a 10% do total). São consideradas como sendo das melhores casas de madeira do mercado.



Fig.4.13 – Certificado Suomen Asiakastieto Oy [49]

Paralelamente, a produção é regularmente controlada pelo instituto de pesquisa técnico alemão Braunschweig, sendo que os materiais utilizados estão de acordo com o certificado alemão DIN 1052. As construções da empresa Lapponia apresentam também o certificado por cumprimento das exigências de construção da União Europeia (ETA Certificate) [50].

Este tipo de estrutura ficou rapidamente popular por ser um sistema inovador que permite uma grande qualidade aliada a uma grande velocidade de execução e a um bom comportamento térmico. Este tipo de solução é interessante em climas quentes e húmidos pois consegue manter um ambiente interior fresco, e a manutenção é bastante simples e económica (comparativamente a casas de troncos).

Actualmente, este sistema distancia-se dos outros pois, além das preocupações ecológicas, apresenta uma aposta forte no domínio da domótica com vista a tornar a casa inteligente, não só para maior conforto do utilizador, mas sobretudo para tornar as casas energeticamente eficientes.

Relativamente ao processo de construção, as paredes são constituídas por painéis feitos com madeiras provenientes dos pinheiros do Norte da Finlândia (*pinus silvestris*). Sendo realizado com madeiras naturais, este é o sistema que mais se aproxima das casas de troncos pois embora, o interior das paredes se assemelhe às paredes duplas de alvenaria, o aspecto exterior é versátil dando a oportunidade de simular desde o aspecto rústico das casas de tronco antigas, até soluções mais originais.

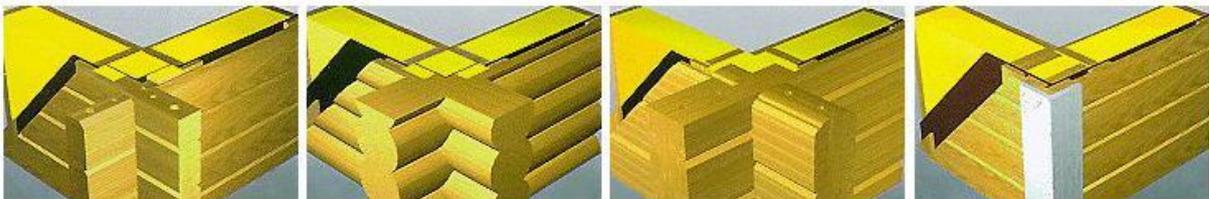


Fig.4.14 – Aspecto exterior das paredes do sistema Lapponia House [49].

As soluções propostas são assim em painéis aplanados, redondos, mega-barrotes ou com canto encapsulado, cujos esquemas estão na figura 4.14, respectivamente da esquerda para a direita.

Como é referido pela empresa, o objectivo é apresentar o aspecto de uma casa tradicional de madeira, utilizando os benefícios tecnológicos do mercado. Estas peças são transportadas em kit, em módulos de grandes dimensões, onde são montadas já com portas e janelas embutidas.

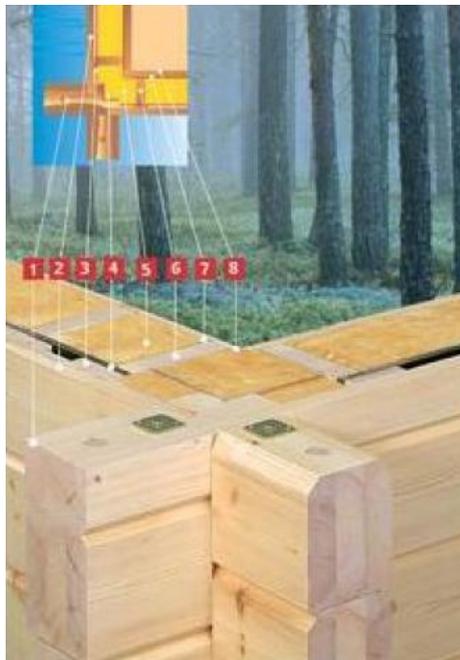


Fig.4.15 – Aspecto e pormenor construtivo da intersecção de paredes [49]

Na figura 4.15, é possível verificar os cantos meramente estéticos (1), painel da parede exterior e interior (2) e (8), a existência de camadas comuns nas paredes duplas de alvenaria, caixa-de-ar, película contra humidade, isolamento térmico, 120 a 170 milímetros de lã mineral (assinalados com números de 2 a 5 e 7), e os fixadores (6).

A empresa mostra uma grande versatilidade no que corresponde aos projectos para construção das habitações. É permitido ao cliente escolher uma casa a partir de catálogos com modelos exclusivos, sendo que dentro de cada modelo existem ainda variantes. O número de modelos é 21, sendo que as variantes ascendem a um total superior a uma centena, existindo projectos com alguns ajustes aos modelos standards ou projectos próprios requeridos pelos clientes. Nos catálogos, cada modelo é apresentado com a sua planta, o seu aspecto exterior espectacular e as áreas úteis totais e parciais como patente na figura 4.16.



Fig.4.16 – Exemplo de modelo standard em catálogo [49]

Relativamente à relação com os clientes e a construção em si, a empresa oferece duas modalidades: o sistema kit e o sistema chave-na-mão. O sistema kit apenas inclui o transporte e a montagem da estrutura e o modelo chave-na-mão inclui todas as fases do processo de construção desde as bases de assentamento, instalações, pavimentos, sanitários, móveis e revestimentos/acabamentos.

As estruturas Thermo Log pretendem fazer concorrência às casas de troncos tradicionais, por isso as comparações são naturalmente feitas com estas e não com as estruturas de alvenaria, como nas soluções anteriores.

As vantagens apresentadas pelo construtor são a não fendilhação das paredes, não havendo também assentamentos consideráveis, o facto de não ser necessário um reajuste em portas e paredes (comum nas casas tradicionais de madeira), a versatilidade na escolha de paramentos, revestimentos e acabamentos interiores, a boa performance acústica e principalmente térmica (os consumos de energia são atenuados pela boa inércia térmica da solução, sendo o valor de  $U$  mais alto no certificado ETA do sistema de  $0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$  para paredes). Relativamente às soluções tradicionais em madeira, o valor do coeficiente da perda de calor  $K$  corresponde a uma diminuição para cerca de  $1/3$  ( $K = 0,22 \text{ W/Km}^2$ ). As casas de madeira tradicionais utilizam madeira suficiente para fazer várias casas com o sistema Thermo Log.

Todos os parâmetros sobre o sistema utilizado e seus materiais estão perfeitamente discriminados no certificado ETA-09/0344, que não é aqui apresentado na íntegra pela sua extensão, mas que pode ser consultado directamente no sítio na Internet da empresa. [49]

A Spring está também a implementar este sistema nos P.A.L.O.P, e outras parcerias da empresa distribuidora produzem estruturas Thermo Log no Japão, Chipre e Itália, demonstrando a versatilidade ambiental do sistema e as boas propriedades anti-sísmicas do mesmo.



Fig.4.17 – Modelo Arctia 215 e Nordia 215 da Lapponia House [49]

#### 4.6. ILEVEL™ TRUS JOIST® – GRUPO ICO

O sistema construtivo Ilevel™ é originário dos Estados Unidos da América, tendo sido desenvolvido pela Weyerhaeuser, uma das maiores empresas de construção de madeira do mundo, que iniciou as suas actividades em 1900, contando no final do ano passado com aproximadamente 14900 funcionários distribuídos por 10 países. [51]

Em Portugal, este sistema é representado pela ICOMATRO – Soluções de Madeira, S.A., uma empresa do concelho do Seixal, que surgiu da fusão de três empresas do Grupo ICO e que tem mais de 50 anos de experiência no trabalho com madeiras, desde o comércio de madeira a retalho até à indústria de mobiliário e da construção. [52]

O sistema Ilevel é muito extenso e complexo apresentando muitas variantes e uma grande diversidade de componentes, pelo que esta exposição vai focar mais especificamente o sistema estrutural ICOJOIST® pela sua relevância dentro do sistema Ilevel e pelas novas áreas de aplicação.

O sistema ICOJOIST foi desenvolvido de forma a otimizar os paramentos horizontais da estrutura. É composto por três tipos de vigas de derivados de madeira, que devem ser sustentadas por cálculos estruturais, sendo utilizadas na concepção de lajes ou da estrutura da cobertura e que, quando bem aplicadas, dão origem a pavimentos silenciosos de grande qualidade. As vigas utilizadas apresentam Marcação CE sendo homologadas pelas principais entidades europeias independentes (BBA do Reino Unido, DIBT e marcação Ü da Alemanha, UBATc da Bélgica, CSTB da França).

Os três tipos de vigas utilizados são: TJI® - Viga em I, TimberStrand® - Viga LSL (Laminated Strand Lumber) e Parallam® - Viga PSL (Parallel Strand Lumber). [53]

A viga TJI é o elemento central deste tipo de sistema, sendo bastante semelhante às vigas Finnjoist (utilizadas na Treehouse) já referenciadas. Nas vigas TJI a alma é feita em OSB (ver 3.3.4.) e os banzos em LVL (Laminated Veneer Lumber), proporcionando uma secção estruturalmente eficiente e dimensionalmente estável.

A viga LSL é composta por um lamelado (ver 3.3.2.) sendo um elemento importante do sistema, devido ao excelente rácio resistência-peso e por ser facilmente trabalhável. É indicada para telhados e permite uma grande criatividade na solução adoptada.

A viga PSL é constituída por um derivado da madeira obtido através de tiras compridas de folha de madeira coladas sobre pressão (Parallam PSL) com grão paralelo, obtendo assim painéis com grande resistência (apresenta a maior resistência das três do sistema). Esta propriedade, aliada à sua beleza

estética (aspecto uniforme), permite a obtenção de plantas mais espaçosas pois possibilita a exposição da estrutura.



Fig.4.18 – Vigas TJI, LSL e PLS [53]

Quanto ao sistema em si, este é dimensionado pelo Departamento Técnico do Grupo ICO, através dos projectos de engenharia, sendo as peças entregues já pré-dimensionadas, em kit e com todas as orientações de montagem. A montagem torna-se assim de relativa facilidade, sendo a fixação da estrutura realizada recorrendo a fixadores metálicos inoxidáveis, propositadamente desenhados para o efeito e tendo marcação CE.

A versatilidade deste sistema traduz-se também nos acabamentos a colocar sobre a estrutura. No que respeita à cobertura, é aconselhada a utilização de acabamentos, como é comum nas construções em materiais tradicionais, recorrendo a estrutura de suporte para permitir uma melhor ventilação. No que respeita aos pavimentos, a solução adoptada pode passar por aplicar um acabamento directamente assente nas vigas, soalho maciço, ou a utilização de uma estrutura de suporte, soalho maciço pregado ou painéis de OSB e aglomerados colados ou pregados, e a aplicação de uma camada secundária, pavimento flutuante, cerâmico, pvc, alcatifa, tendo sempre o cuidado de verificar as necessidades específicas das soluções adoptadas.

As vantagens da utilização do sistema ICOIJOIST<sup>®</sup> compreendem-se com a versatilidade que as vigas deste sistema promovem. Podem ser utilizadas em construções novas (edifícios habitacionais, escolares, de saúde, industriais, comerciais e escritórios, construção modular), ampliações e em reabilitação de edifícios.



Fig.4.19 – Aplicação do sistema Ilevel [51].

Assim, e em síntese, as principais vantagens são:

- grande estabilidade estrutural e bom rácio resistência/peso;
- leveza da estrutura;
- assistência em projecto e entrega em kit para maior facilidade e rapidez de montagem sem necessidade de maquinaria pesada;
- construção seca e limpa sem recurso a cofragem e com pequena área de armazenamento;
- qualidade estética e conseqüente utilização em decoração;
- vigas facilmente perfuráveis para passagem de condutas técnicas.

Apresentam, à semelhança dos sistemas anteriores, boas características acústicas, térmicas e de resistência ao fogo, respeitando também as crescentes preocupações ambientais.

Sobre o sistema Ilevel<sup>TM</sup> na sua generalidade, é necessário referir que engloba a maior colecção de produtos de construção comprovados, e os meios para uma distribuição eficiente, suportados por uma grande colecção de apoio técnico e software.

É promovida a interacção entre colaboradores de forma a tornar o processo mais transparente, a facilidade de troca de bens e materiais e de conhecimentos. Põe ao dispor de colaboradores e revendedores, o software Ilevel para que também estes possam otimizar o desempenho estrutural e diminuir os resíduos de estaleiro. Faculta a presença de equipas de apoio para resolução de problemas e para dar consultoria, ajudando a gerir negócios de forma mais eficiente e a construir casas com melhores desempenhos.

A Weyerhaeuser faz grandes investimentos em estratégias de sustentabilidade sendo naturalmente reconhecida pelas suas apostas. Desse reconhecimento é importante destacar a presença assídua no Dow Jones Sustainability Index que avalia a performance das empresas a nível económico ambiental e social (única empresa da indústria da madeira nomeada), nomeação para o Sustainability Yearbook em 2008 e a nomeação para “Best in Class” em 2009 pela Storebrand, novamente pelas performances ao nível ambiental e social.

Estas características fazem da Weyerhaeuser um parceiro de negócios muito interessante e importante para a indústria nacional.



Fig.4.20 – Prémios da Weyerhaeuser por estratégias de sustentabilidade [51]

#### 4.7. MODULAR SYSTEM – ARQUIPORTO E GEOINVESTIMENTOS

O sistema Modular System aqui apresentado é talvez o que tem raízes mais recentes, data de 2003, estando por isso em fase de crescimento e consolidação. Surge da pesquisa dos Arquitectos Alexandre Teixeira da Silva e Miguel Ribeiro de Sousa, da Arquiporto, sobre tipologia de habitação modular e as características construtivas da madeira e inspirados na filosofia de desenho de arquitectos do Movimento Moderno. [54]

O objectivo foi criar um sistema modular de casas em madeira que permita a obtenção de soluções diferentes e personalizadas mediante a agregação de módulos predefinidos, reunindo num único

interlocutor as funções de projectar e construir, facilitando desta forma o desenvolvimento das diferentes fases do projecto (sistema chave na mão).

O Modular System está dividido em 5 linhas de produto que pretendem agrupar o âmbito de aplicação do conceito modular: séries, base, custom, mobile e nomad.

As séries são projectos que pretendem demonstrar as potencialidades da construção modular a partir de algumas combinações possíveis, elaboradas de forma a abranger as necessidades e desejos dos clientes. As séries englobam 5 exemplos distintos (XS, S, M, L e XL) que divergem uns dos outros consoante a composição, e que apresentam variantes dentro do mesmo modelo. Os exemplos estão ainda divididos segundo a área útil dos módulos em, módulo m que tem 11m<sup>2</sup> e módulo m+ com 13,5 m<sup>2</sup>.

A figura 4.21 apresenta o exemplo L.1+, com 143 m<sup>2</sup>, que é uma habitação com um piso, T3, composta por 8 módulos m+ com uma ligação complexa.

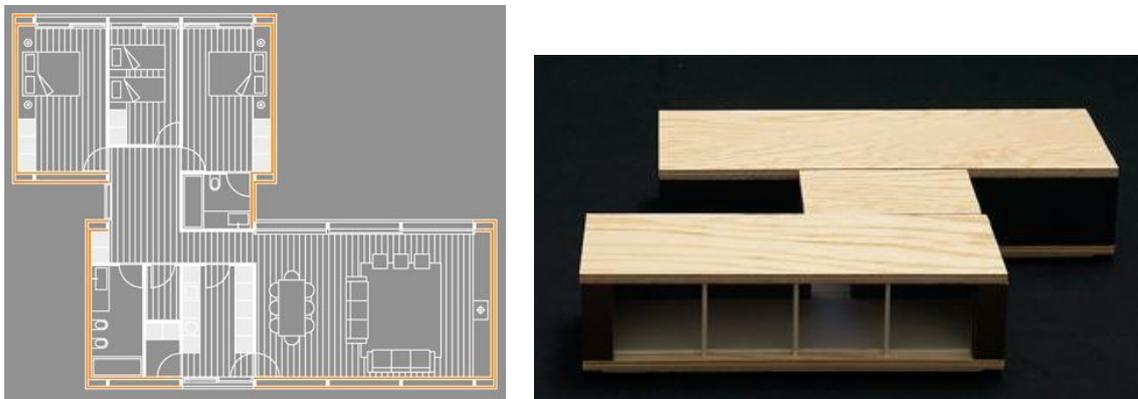


Fig.4.21 – Planta e ilustração 3D da solução standard L.1+ [54]

As casas base são projectadas de raiz a partir da conjugação de módulos predefinidos. Permite uma resposta mais concreta às necessidades do cliente, criando soluções muito mais personalizadas, não tendo portanto uma tipologia definida.

As casas da linhagem “custom” são obtidas utilizando as metodologias adquiridas do Modular System, não utilizando no entanto os módulos predefinidos. Permite uma maior personalização da solução, que se traduz num preço e tempo de execução superiores e não facilmente determináveis *à priori*. Nesta altura de consolidação do sistema construtivo, esta modalidade é a única que permite a execução de habitações com mais de um piso.

As denominadas “mobile home” são habitações modulares transportáveis que seguem os princípios da modularidade aplicada à mobilidade. São casas amovíveis em que o espaço é totalmente aproveitado e que se adaptam a qualquer contexto. Estes módulos tridimensionais são transportados para o local de implantação já prontos, tendo uma área útil de 42 m<sup>2</sup>.

Os edifícios da série “nomad” constituem uma variação da tipologia base dos anteriores. Estes módulos apresentam a forma de pirâmides rectangulares, base em planta rectangular e alçado em forma de triângulo, estabelecendo normalmente um acréscimo ao programa base do edifício.

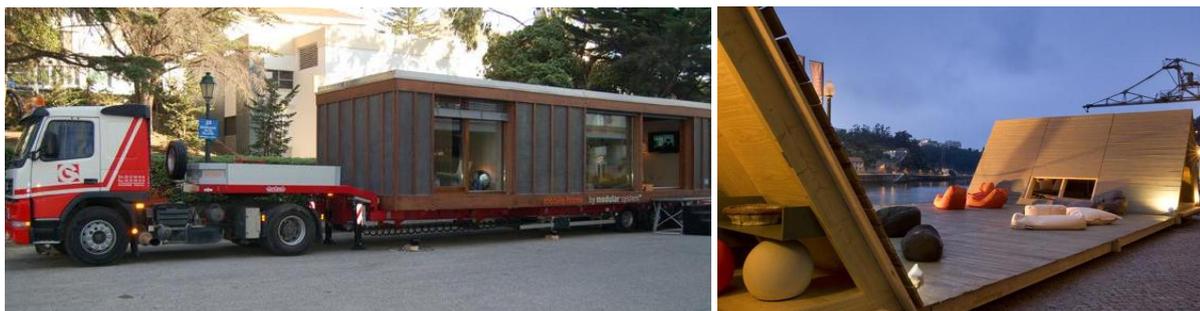


Fig.4.22 – Exemplo de mobile home e série nomad [54]

As casas com modular System são desenvolvidas em Portugal sendo que a sua construção é realizada no local (módulos de pequena e grande dimensão), exceptuando as da série mobile que são transportadas já com o seu aspecto final (módulos tridimensionais).

O processo construtivo, do tipo chave na mão, do tipo standard demora cerca de 16 semanas a ser concluído, exceptuando licenças camarárias, sendo que para as séries “custom” este tempo é variável e dependente da complexidade. O prazo da obra é de 8 semanas.

Os preços destes sistemas são muito variáveis, devido à flexibilidade do sistema e à qualidade das soluções que o cliente escolher. É possível adquirir um imóvel, com acabamentos standard, por 26.500 euros no caso do modelo XS.1, com 29,90 m<sup>2</sup>, até 254.000 euros da série XL.4, com 321,90 m<sup>2</sup>.

As estruturas das casas modulares estão sobrelevadas do terreno através de distanciadores metálicos que permitem a adaptação a qualquer topografia, evitando perdas de tempo e custos associados aos movimentos de terra. As fundações são feitas através de sapatas pontuais de betão ou estacas de madeira.

Todas as paredes apresentam isolamento térmico e acústico. A estrutura é em madeira lamelada colada e as paredes exteriores são painéis duplos em OSB, com caixa-de-ar e lã mineral, e as paredes interiores são simples com duplo painel de gesso cartonado, com lã mineral no interior. As instalações eléctricas e de águas estão completamente ocultas, sendo colocadas na caixa-de-ar das paredes, no tecto e pavimento. O tecto standard é feito em contraplacado de madeira e os vãos interiores em madeira maciça.

Os acabamentos para os diversos paramentos da habitação, horizontais e verticais, estão apresentados no sítio da internet do sistema, sendo apenas apresentado o seu valor estético.

A resistência ao fogo é conseguida pelo dimensionamento das estruturas de acordo com a norma NP ENV 1995-1-2:2000 (Projecto de Estruturas de Madeira - Parte 1-2: Regras gerais - Verificação da resistência ao fogo) [55] e a NP ENV 1991-2-2:2000 (Eurocódigo 1: Bases de Projecto e acções em estruturas - Parte 2-2: Acções em estruturas - Acções em estruturas expostas ao fogo) [56], de forma a garantir uma estabilidade ao fogo de 30 minutos, EF30.

Em génese, o Modular System permite construir edifícios com rapidez e qualidade, procurando conjugar as vantagens da produção em série com o carácter dos projectos individualizados.

#### **4.8. SISTEMA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADO LEVE – MESQUITA MADEIRAS, S.A.**

A empresa Mesquita Madeiras, S.A é uma empresa do Grupo Alberto Martins de Mesquita & filhos, S.A. constituída em 1995, estando a sua sede localizada na Maia. Foi criada com o objectivo de

autonomizar, desenvolver e melhorar as metodologias e processos das carpintarias para construção civil e construções industriais em madeira. [57]

O progresso da empresa foi procurado a partir da importação de know-how existente, permitindo a aproximação da empresa e dos seus produtos ao mercado, através da produção e lançamento de novos e melhorados produtos, enriquecendo o portfolio da empresa e da constituição de novos sistemas de construção.

A Mesquita Madeiras, S.A. desenvolveu um sistema de construção industrializado leve, que se destina à construção de edifícios de madeira de um piso. Este sistema é o único que se encontra homologado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) na área do Núcleo de Comportamento das Construções (NCCT) desde 1982. O documento de homologação correspondente é o DH 758.

O sistema industrializado leve apresenta uma base de planificação e construção que assenta em módulos de 1,25 metros de largura, o que permite classificá-lo como um sistema que utiliza módulos de pequenas dimensões.

Tendo como base estes módulos, a empresa fornece um conjunto de soluções que variam desde plantas e projectos standards, até projectos realizados de origem pela equipa projectista da empresa de forma a responder às necessidades dos clientes. Por outro lado, e no sítio da Internet da empresa, é permitido ao cliente desenhar a planta da sua casa, de uma forma relativamente simples, como é visível na simulação a seguir apresentada. Como se pode ver, apenas se dá relevância a áreas dos compartimentos, aos vãos e à localização dos pontos com requisitos de abastecimento de águas. Cada quadrícula corresponde a uma área de 1,25x1,25 metros quadrados.

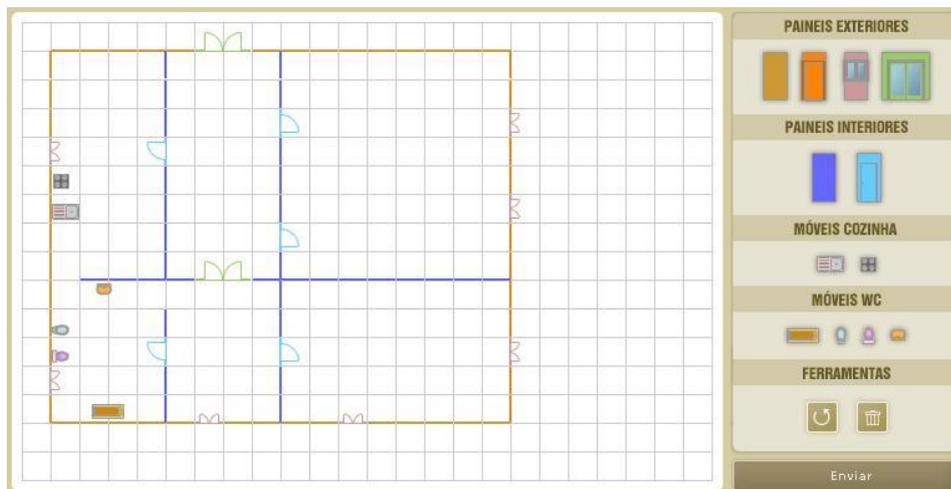


Fig.4.23 – Simulação de uma planta realizada no site da empresa Mesquita Madeiras, S.A. [57]

Após esta fase é pedido ao cliente que escolha acabamentos, revestimentos, isolamentos, e outras soluções construtivas e mobiliárias de forma a ser dado um orçamento mais próximo do real que depende obviamente da qualidade e preço unitário das opções propostas pela empresa.

Sobre o sistema em si não é possível retirar grandes conclusões a partir das informações existentes, devido à falta de disponibilização de dados no site. O facto dos painéis utilizados serem de pequena dimensão e da empresa ter uma grande história na área, e um conjunto de soluções extensas, pode estar na origem da dificuldade em referenciar este sistema de forma sucinta.

Um exemplo da aplicação deste sistema é a sede da Direcção-Geral de Recursos Florestais do Centro, localizada na Mata Nacional do Choupal em Coimbra cuja construção ficou concluída em 2008.

Este complexo é composto por três blocos, dispostos em U, apresentando uma área total coberta de 689 m<sup>2</sup>. Na sua construção, o material base utilizado foi o pinho marítimo, tanto nos paramentos exteriores como interiores, após devidamente tratado nas instalações da empresa. É um espaço moderno e funcional que engloba serviços de atendimento ao público, gabinetes, arquivo geral, biblioteca e serviços informáticos.



Fig.4.24 – Sede da Direcção-Geral de Recursos Florestais do Centro [57]

#### 4.9. WOODLAM – IMOWOOD

A marca Woodlam, Imóveis de Madeira Lamelada tem como objecto a execução de estruturas em madeira lamelada colada englobando o âmbito de funcionamento da empresa IMOWOOD – Imóveis de Madeira, Lda. Esta empresa nasce do gosto especial pelas construções em madeira, aliado à experiência e conhecimentos técnicos adquiridos ao longo do tempo, estando actualmente vocacionada para o projecto, concepção e montagem de casas de madeira. [41]

O âmbito da empresa é vasto, abrangendo três sistemas distintos: o tropical, construções em madeira exótica, o Nórdico, utilizando madeira maciça (pinho nórdico), e o sistema europeu, realizado com painéis modulares aqui em estudo.

O sistema de construção utilizado, como já foi referido, é tipo chave-na-mão, sendo que o projecto pode partir do cliente e adaptado pela equipa projectista da empresa, ou ser realizado na íntegra pelo projectista da equipa.

O projecto e produção Woodlam é executado de forma a respeitar as seguintes normas europeias: o Eurocódigo 5, a norma EN 1194 e a EN 386, que regem a determinação das classes de resistência e os seus valores e a produção dos lamelados, já referidas em 3.3., e o Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 235/83.

A madeira lamelada colada utilizada é feita a partir do abeto nórdico sendo que as principais características e especificações são as seguintes:

Quadro 4.3 – Descrições técnicas da madeira lamelada [41]

Descrições técnicas	B
Espécie	Abeto nórdico ( <i>Picea Abies</i> )
Classe de resistência	GL24 / GL28 / GL32
Humidade da madeira (%)	10 – 14
Espessura da lamela (mm)	40
Outras espessuras (mm)	45 / 50 (sob consulta)
Colas	Melamina UREA, cola clara, não escurece
Qualidade da superfície	Aparelhada dos 4 lados, Biselado Qualidade visível ou Industrial
Comprimentos (m)	Até 13,5
Outros comprimentos	Até 40 (sob consulta)
Embalagem	Em paletes Embaladas individualmente se necessário

Além deste material, o sistema Europeu utiliza um derivado denominado madeira contracolada com especificações técnicas semelhantes à madeira lamelada colada. As dimensões em que a madeira se encontra disponível são muito variáveis, sendo que larguras superiores a 220 mm e alturas de 2000 milímetros dos módulos estão sob consulta, surgindo discriminadas com pontos de cor escura na figura 4.25.

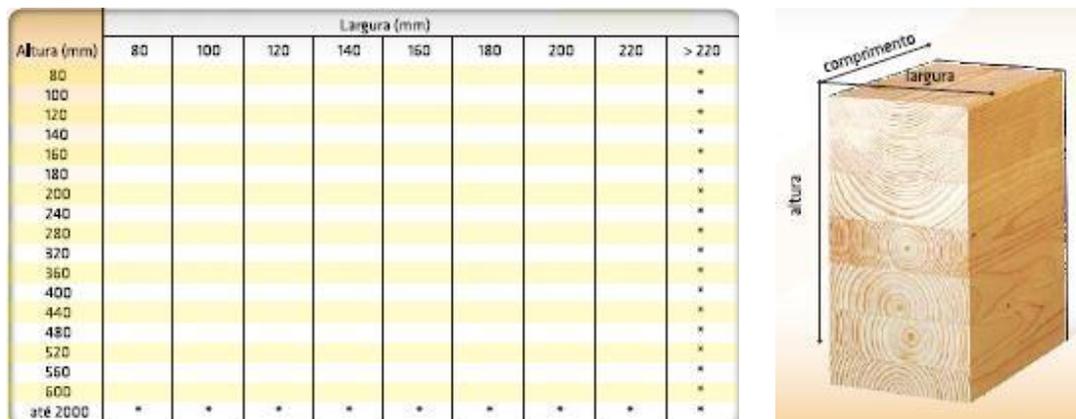


Fig.4.25 – Quadro de dimensões disponíveis e provete exemplificativo dos eixos considerados [41]

Este material, além do âmbito desta dissertação, é indicado para coberturas de grande vão (centros comerciais, pavilhões desportivos, piscinas), passagens pedonais, e reabilitação de edifícios.

Sobre o sistema Europeu é necessário referir que os módulos, feitos em fábrica, vão para obra já com as instalações de águas, electricidade ou outras requeridas. Por esta razão, e pela dimensão de módulos praticados pela Woodlam, pode-se classificar este sistema como de módulos de grande dimensão. As

paredes exteriores têm habitualmente espessuras entre 195 e 300 mm de espessura, havendo vários tipos de acabamento para escolha. As paredes interiores são de 140 mm e constituídas por painéis de OSB, gesso cartonado hidrófugo ou pinho nórdico.

A madeira deve ainda ser protegida com impregnante de base aquosa e de secagem rápida, transparente, que repele a água, a sujidade e manchas, protegendo ainda de bactérias e fungos. Este deve ter operações de manutenção de 3 em 3 anos, para não perder eficácia.

A montagem do sistema demora cerca de 90 dias contados a partir do início das fundações, sendo 20 dias para a preparação da base, 25 dias para a montagem do kit (casas com cerca de 130 m<sup>2</sup>) e os restantes 45 para todo o tipo de acabamentos (instalações, revestimentos, obras periféricas, pinturas).

O tempo de montagem, e outros factores referidos podem no entanto ser alterados dependendo do tipo de estrutura e das soluções construtivas adoptadas pelo cliente. Para o construtor e cliente, o sistema mais previsível e fácil de gerir é a construção total por parte da Woodlam, desde o projecto até á montagem (sistema chave-na-mão).

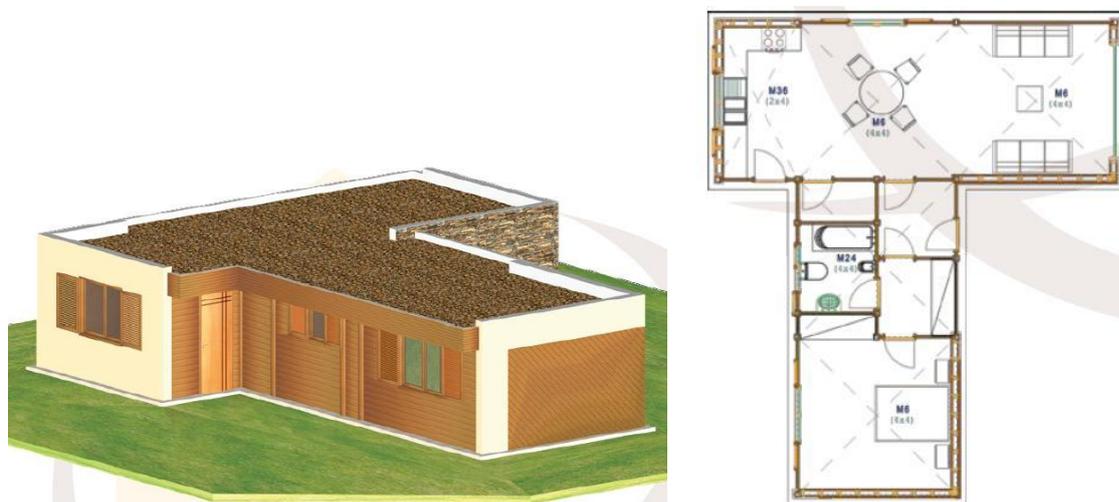


Fig.4.26 – Perspectiva 3D e planta do modelo T1 das casas modulares Imowood [41]

#### 4.10. COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS E ALTERNATIVAS

Os sistemas assinalados nos pontos anteriores pretendem ser uma pequena amostra dos sistemas prefabricados que se praticam em Portugal e por toda a Europa, sendo que atendendo ao âmbito deste trabalho e ao que foi proposto, conseguem ser de certa forma representativos da realidade nesta indústria emergente.

O quadro apresentado de seguida pretende apresentar de forma sintetizada as principais características dos sistemas referidos, permitindo criar pontos de comparação mais simples entre as soluções (Quadro 4.4).

Ao realizar a pesquisa referente aos sistemas foi possível verificar que algumas empresas especificam de forma deficiente os materiais e as soluções construtivas adoptadas, dimensões e outros factores que ajudam os clientes a tomar decisões, substituindo essa transparência por operações de marketing, normalmente apelando ao cariz estético final das estruturas, não sendo possível avaliar de forma profunda a qualidade técnica desses sistemas. Por esta razão, foi criada uma coluna no quadro 4.4 que avalia a qualidade de informação fornecida pelas empresas no que respeita à especificação técnica dos sistemas.

Sobre o sistema Ilevel é necessário tecer alguns comentários. O sistema, no local de origem, está perfeitamente discriminado no que respeita a cargas admissíveis, realização de furos, e forma de montagem ideal, não tendo sido encontrada informação relativa à restante caracterização técnica do material. O principal inconveniente deste produto é o sistema de medição utilizado não ser o europeu, não tendo havido o cuidado da representante nacional em fazer a justificada conversão, ou pelo menos, não estando disponível para consulta.

Quadro 4.4 – Quadro resumo dos sistemas construtivos modulares

Sistemas	Classificação dos módulos	Madeira ou derivado	Modelos	Caracterização técnica do material
AGEPAN	Pequena e grande dimensão	Agepan	Desenho livre	Satisfatória
Treehouse	Tridimensional	Kerto (LVL)	28 Modelos standard e 15 módulos tridimensionais combináveis	Satisfatória
KLH	Grande dimensão	X-LAM (laminado)	Desenho livre	Satisfatória
Lapponia House	Grande dimensão	Madeira maciça (pinheiro vermelho do Norte da Finlândia)	21 Modelos standard com variantes que ascendem a mais de 100	Satisfatória (listagem extensiva no certificado ETA)
Ilevel	Maioritariamente de pequena dimensão	OSB, LVL e Parallam PSL	Desenho livre	Insuficiente
Modular System	Pequena e grande dimensão e tridimensional	OSB e madeira lamelada colada	34 Modelos standard e desenho livre	Não especificado
Industrializado Leve	Pequena dimensão	Não especificado	Desenho Livre	Não especificado
Woodlam	Pequena dimensão	Madeira maciça (pinho nórdico) e madeira lamelada colada	5 Modelos standard e desenho livre	Satisfatória (excepto no que se refere à madeira maciça)

Sobre as empresas que praticam estes sistemas, de uma forma geral, é importante referir que não existe uma referência clara quanto ao período de garantia das casas ou das diferentes soluções, exceptuando a Imowood que oferece uma garantia de 30 anos (não especifica se é ou não para os 3 sistemas: tropical, nórdico e europeu). Relativamente às restantes empresas em estudo, por falta de dados, adopta-se a garantia regulamentada por lei de 5 anos.

É importante referir que quando se fala de caracterização técnica dos materiais, a análise está a ser feita segundo um mesmo nível de investigação para cada sistema, ou seja, avaliaram-se as empresas segundo as mesmas fontes de informação, permitindo fazer sobressair as que transmitem uma maior transparência e informação relativamente aos seus processos. A realização deste tipo de análise permite por outro lado avaliar a coerência e o rigor com que as empresas sustentam afirmações relativas aos seus sistemas construtivos.

Existem outras empresas com sistemas construtivos interessantes que não foram aqui retratadas exaustivamente, mas que devem ser mencionadas por apresentarem alternativas válidas aos modelos anteriores.

#### 4.10.1. TOSCCA®

A Toscca® - equipamentos em madeira, Lda. é uma empresa de Oliveira de Frades criada em 1996 cujo âmbito de funcionamento é o desenvolvimento e fabrico de produtos em madeira, criando conceitos e soluções, sempre suportados por preocupações ecológicas e de sustentabilidade. [58]

Esta empresa fabrica casas segundo diferentes tipologias, que são projectadas e construídas segundo as normas de construção do LNEC. O cliente pode optar entre oito modelos standard ou casas realizadas à medida segundo as suas especificações.

Promovem de igual forma outra modalidade, que denominam por bungalows, que consistem em módulos tridimensionais, feitos na sua íntegra em fábrica e que possuem armação em ferro para aumentar a solidez e resistência estrutural e para facilitar o transporte e a implantação no destino.

#### 4.10.2. ARVESUND LIVING AB

A empresa Arvesund Living AB, situada em Jämtland, Suécia, é uma empresa especializada em construções de madeira através de reutilização de madeira. Apresenta projectos muito diversos, desde casas de troncos até à utilização de modulação segundo as tipologias Hermit's cabin, que constituem casas de pequena dimensão, ideiais para locais isolados e de difícil implantação (apresentam boas características térmicas e de higroscopia), e barnhouses, inspiradas nas arquitecturas dos celeiros, que constituem habitações de 2 pisos com uma estrutura aberta, constituindo espaços amplos e com uma luminosidade muito característica. [59]

Esta empresa é muito interessante pois tem parceria com a IKEA, o que facilita a sua promoção.

#### 4.10.3. CASEMA

A Casema – Casas Especiais de Madeira, importação – exportação, Lda., é uma empresa sediada em Porto de Mós, Leiria, que data de 1992, tendo no entanto iniciado a sua actividade apenas em Janeiro de 1993. [60]

O sistema de construção utiliza como matéria-prima madeiras maciças exóticas provenientes do Brasil, sendo a mais relevante a tatajuba (*bagassa guianensis*), obedecendo a modulações pré-determinadas que compõem paredes normalmente entre 1 a 4 metros de comprimento, permitindo classificar o sistema como utilizando módulos de pequenas e grandes dimensões.

As paredes utilizadas são duplas de 11,5cm de espessura, desenvolvidas para os climas severos do Norte da Europa garantindo boas performances a nível térmico, e o sistema de encaixe é tipo macho-

fêmea com uma maior profundidade que o habitual, de forma a garantir maior estabilidade e maior estanquidade.

O âmbito de aplicação do sistema inclui um vasto catálogo de modelos standards, distribuídos pelas categorias de arquitectura mais moderna ou mais tradicional, com 18 e 16 modelos, respectivamente, e a possibilidade de pedir um projecto de raiz consoante as necessidades e gostos do cliente.

Neste ano, a empresa conta já com mais de 70.000m<sup>2</sup> de construção, distribuída principalmente por Portugal, mas também no resto da Europa, África e Ásia.

#### 4.10.4. RESUMO DAS EMPRESAS CONSTRUTORAS DE CASAS DE TRONCOS

Outra possibilidade para os clientes interessados em construções em madeira, mas que procurem soluções mais tradicionais, são as casas de troncos, razão pela qual é apresentado um pequeno resumo das empresas mais representativas do mercado nacional. Uma lista extensiva de empresas construtoras em madeira é feita em [61].

Quadro 4.5 – Quadro resumo de empresas nacionais construtoras de casas de troncos [61]

Empresa	Localização	Madeira	Garantia (anos)
Rusticasa	Vila Nova de Cerveira	Pinho e Abeto Nórdico e cedro do Japão	10
Empatias	Corroios	Pinho Nórdico	100
Monjolo	Porto de Mós, Leiria	Exóticas	30
Logdomus	Santa Maria da Feira	Pinho e Abeto Nórdico	5
Fuldex	Lisboa	Pinho Nórdico	5
ConcasMadeira	Póvoa do Varzim	Exóticas	5
Ecotouch	Lisboa	Exóticas (Maçaranduba, Ipê e Jatobá)	5?
Finlusa	Alverca	Pinho Nórdico	5
Lacecal	Estoril	Cedro Vermelho	10
Honka	Amadora	Pinho Nórdico	15
Casema	Porto de Mós, Leiria	Exóticas	30



# 5

## AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÓMICA

### 5.1. ORGANIZAÇÃO DO CAPÍTULO

Este capítulo tem como objectivo avaliar as características dos sistemas construtivos modernos em madeira e compará-los com os sistemas tradicionais, de forma a averiguar se estes sistemas conseguem ser competitivos no panorama actual.

Para fazer esta análise foi pedido a um licenciado de arquitectura, Arq. João Pedro Torres, uma planta de um projecto relativamente actual, que respondesse a alguns parâmetros propostos pelo autor desta dissertação de forma a tornar esta análise o mais realista e factual possível.

Assim, no ponto 5.2 faz-se a apresentação da planta da habitação escolhida para análise e as particularidades inerentes.

No ponto 5.3 é feita uma comparação entre um sistema construtivo com estrutura em betão armado e alvenaria de tijolo como preenchimento e uma solução prefabricada modular em madeira referindo sucintamente as principais semelhanças e diferenças entre os dois sistemas.

O ponto 5.4 serve para caracterizar os sistemas modulares segundo um conjunto de exigências que avaliam a performance das soluções adoptadas. As exigências em análise são adaptadas das propostas em [1], estando divididas em três grandes grupos: exigências de estabilidade, exigências de habitabilidade e exigências de durabilidade.

No ponto 5.5 é feita uma análise económica, através da comparação dos preços praticados por algumas das empresas que usam sistemas modulares em madeira, com sistemas que usam casas de troncos, alvenaria de tijolo e uma empresa que utiliza modulação de betão. São também avaliados os custos de manutenção espectáveis e a forma como se desenvolvem no tempo.

No último ponto deste capítulo, 5.6, é feita uma síntese do apresentado e das principais conclusões que podem ser retiradas.

### 5.2. TIPOLOGIA DA HABITAÇÃO EM ESTUDO

A habitação que vai ser objecto de estudo foi requerida ao Sr. Arquitecto João Pedro Gonçalves Torres segundo alguns pontos que o autor desta tese achou fundamentais para avaliar as potencialidades dos sistemas estruturais sob observação neste trabalho e a construção em betão armado e alvenaria de tijolo muito comum no território nacional. As ressalvas feitas pelo autor foram as seguintes:

- Habitação unifamiliar com dois pisos;
- Inexistência de pisos habitáveis abaixo da cota do terreno;

- Área de implantação entre 100 e 200 m<sup>2</sup>;
- Uniformidade de soluções das paredes.

A habitação proposta apresenta os parâmetros observados no quadro seguinte (Quadro 5.1).

Quadro 5.1 – Parâmetros urbanísticos de maior relevo

Designação	Valor
Área de implantação da habitação (m <sup>2</sup> )	152.00
Área Total de construção (m <sup>2</sup> )	256.00
Número total de pisos	2
Número de pisos acima da cota de soleira	2
Número de pisos abaixo da cota de soleira	0
Número de fogos	1
Uso a que se destina	Habitação

O edifício destina-se então a habitação unifamiliar do tipo T2. Por requisito do cliente, as zonas de descanso são no andar inferior e as zonas comuns são no andar superior. O r/chão será composto por uma zona de acesso ao andar, uma zona técnica com garagem, lavandaria e uma zona privada com dois quartos de dormir, arrumos, instalações sanitárias e um escritório. O andar será constituído por um hall de entrada, sala comum (estar e jantar), cozinha, um salão e uma instalação sanitária de serviço.

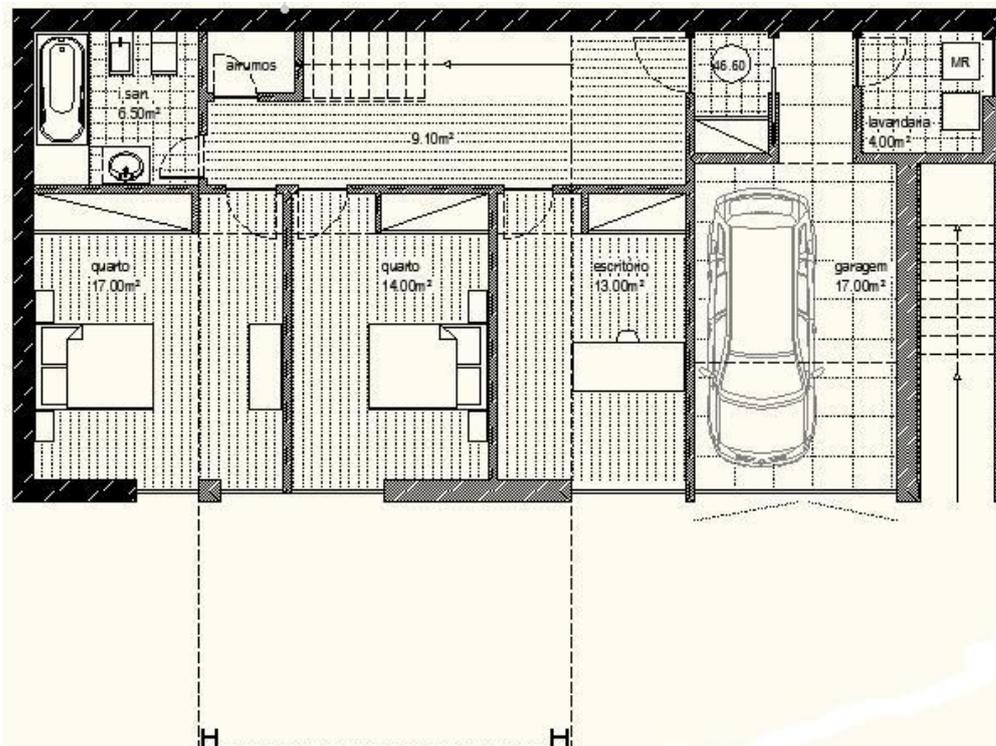


Fig.5.1 – Planta do Rés-do-chão

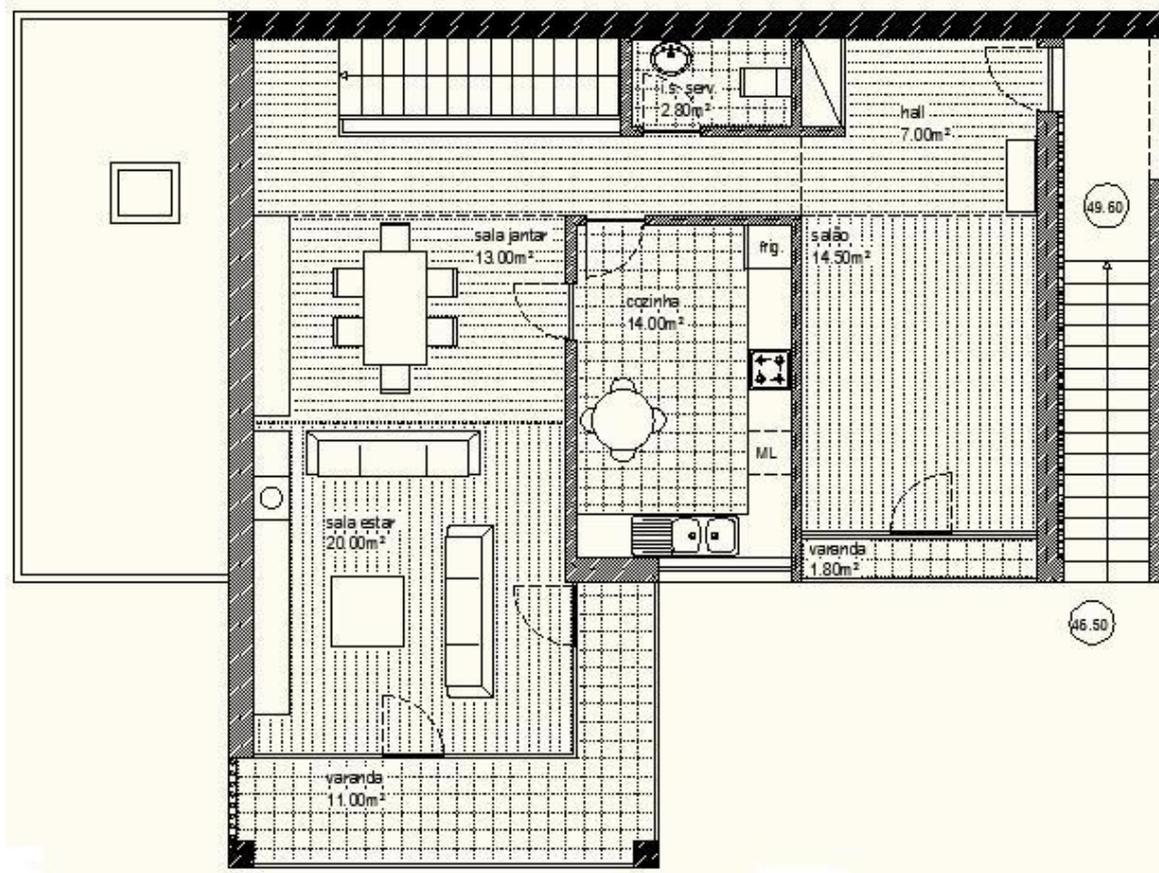


Fig.5.2 – Planta do 1º piso

### 5.3. DEFINIÇÃO DA CASA PADRÃO COM ESTRUTURA PREFABRICADA E EM ALVENARIA DE TIJOLO

A definição dos dois sistemas para comparação não é simples pois as casas com estruturas prefabricadas modulares apresentam sistemas de construção bastante distintos, sendo que nesta apresentação, serão apresentadas as principais soluções e algumas considerações que o sistema escolhido deve verificar.

Quando se fala em sistema construtivo, está-se a assumir, e bem, que se utilizam vários elementos na construção que se combinam de formas muito particulares para criar um conjunto sólido. Uma abordagem celular do edifício é quando se encara o edifício como um conjunto de células que combinam e não se sobrepõe, sendo que estes elementos mais simples que compõe o edifício denominam-se subsistemas de construção. [1]

No entanto, a avaliação e definição aqui pretendida é mais do ponto de vista funcional, pois procura-se englobar os elementos com funções com características semelhantes e que procuram responder a necessidades específicas dos clientes. Cada divisão funcional do edifício é denominada de órgão e as necessidades específicas dos clientes são designadas por exigências funcionais.

A definição dos sistemas, devido à versatilidade já explicitada, vai ser feita aplicando características da abordagem celular ou por órgãos funcionais da forma que o autor considera mais relevante na

caracterização dos sistemas para melhor entendimento dos mesmos, sendo o resultado final uma adaptação da decomposição feita em [1].

Quadro 5.2 – Divisão de uma casa padrão em Órgãos funcionais

Órgão principal	Órgão secundário
Estrutura	Fundações Superestrutura
Envolvente exterior	Paredes exteriores Cobertura Aberturas
Compartimentação interior e revestimentos	Paredes interiores Paredes exteriores Pavimento Aberturas Escadas
Instalações e equipamentos	Águas e saneamento Aquecimento Electricidade Rede de distribuição de Gás Ventilação

### 5.3.1. FUNDAÇÕES

A fundação é a parte da construção que suporta o peso da estrutura distribuindo as cargas ao terreno subjacente, sendo igualmente responsável pelo nivelamento e acondicionamento estático de todo o edifício. É muito importante que as fundações sejam bem executadas, pois os problemas associados a estes elementos são dispendiosos e de difícil resolução.

Nas construções de madeira, a solução mais adoptada é normalmente a sapata contínua. Esta solução depende no entanto da consistência do terreno e do tipo de estrutura a ser edificada. A sapata contínua é indicada para sistemas que utilizam paredes resistentes, dispensando pilares e vigas, sendo executadas de forma a acompanhar essas mesmas paredes.

Se o terreno for suficientemente resistente, as sapatas podem ser realizadas vertendo o betão directamente no terreno, senão devem ser utilizadas cofragens. Quando estas sapatas não são a solução mais indicada, recorre-se habitualmente ao ensoleiramento geral ou fundações por estacas.

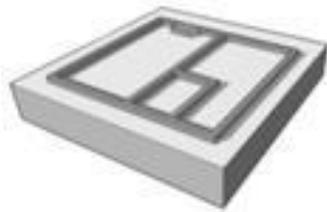


Fig.5.3 – Ensoleiramento geral [3] [22]

Após a cura das sapatas, é habitual fazer uma parede de alvenaria com pequena altura, permitindo elevar as primeiras fiadas de madeira de forma a criar uma protecção física entre a madeira e os agentes agressores (atmosféricos, águas existentes nos solos). Permite também criar sistemas de ventilação, por exemplo caixas-de-ar, que impedem a acumulação de humidade nas fiadas inferiores e no pavimento do piso térreo, evitando condensações.

Segundo a publicação da Aitim [2], esta deve ter uma altura mínima de 30 cm, sendo protegida por uma rede mosquiteira montada de forma a impedir a entrada de água e com uma secção mínima de entrada e saída de 15 cm<sup>2</sup> por metro linear de parede.

Nos sistemas mais recentes, é habitual encontrar soluções que apresentam alternativas às paredes de alvenaria, como é o caso de sistemas com sobrelevação através de pilares de madeira, como o caso da Treehouse da Jular, distanciadores metálicos, Modular System, ou outras soluções que combinam diversos materiais.

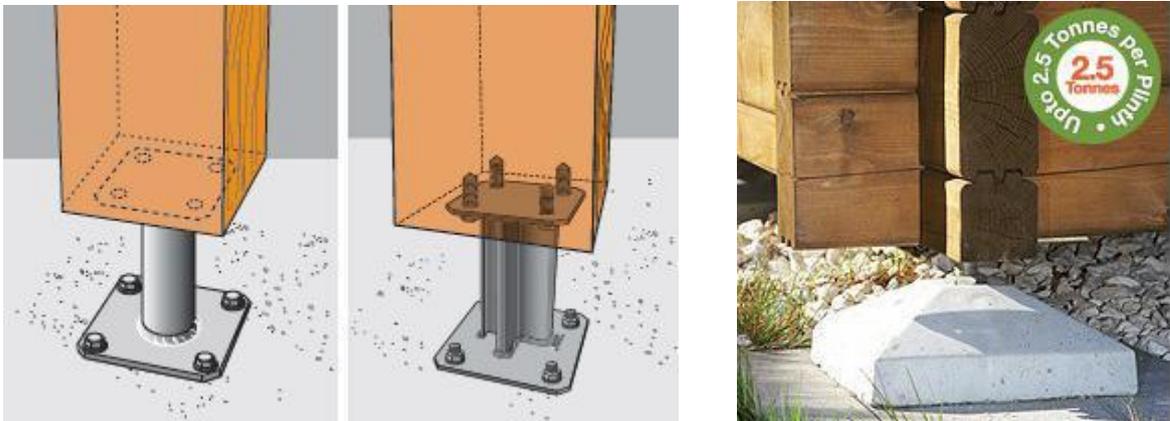


Fig.5.4 – Exemplos de sistemas de sobrelevação [23] [62]

Relativamente ao sistema de betão e alvenaria de tijolo, as fundações devem ser isoladas existindo lintéis de fundação entre sapatas, ou podem mesmo ser utilizadas sapatas contínuas, dependendo do tipo de terreno.

Como as estruturas de madeira, apresentam pesos próprios muito inferiores aos praticados nas construções de alvenaria tradicionais, as dimensões das sapatas são, de uma forma geral, inferiores às necessárias em casas com estrutura em betão armado.

Em ambas as soluções devem ser colocados drenos, formando uma cinta em volta das fundações para evitar a acumulação de água nos terrenos subjacentes, facultando a extracção da água em excesso. O sistema de drenagem é composto por um dreno perfurado envolvido num geotêxtil, que deve ser aterrado por gravilha, progressivamente mais fina, desde a superfície até ao contacto com o têxtil. Deve ser colocada uma tela filtrante para proteger a estrutura.

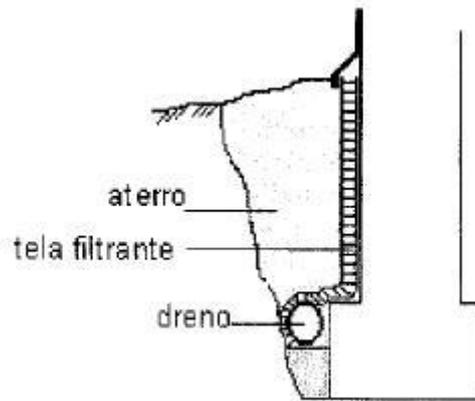


Fig.5.5 – Colocação do sistema de drenagem [63]

Ao se fazer as fundações é necessário garantir a instalação das águas e saneamento, e os restantes serviços de distribuição e só posteriormente se proceder à betonagem das fundações.

### 5.3.2. SUPERESTRUTURA

Nesta fase da construção, o processo mais relevante é a implantação da primeira fiada. Para isso é preciso uma colocação prévia dos parafusos de ancoragem, tendo o cuidado de manter uma superfície regular em seu redor para facultar uma perfeita ligação entre superfícies. Caso não seja possível fixar à armadura do betão das sapatas, devem ser utilizadas estruturas de suporte de madeira.

Estes problemas são obviamente mitigados quando a estrutura de apoio não é feita em alvenaria ou betão, como no caso das estruturas constituídas por módulos tridimensionais. Neste tipo de estruturas ganha extrema relevância o tipo de ligadores utilizados, não sendo aconselhável a utilização de sistemas sem certificação.

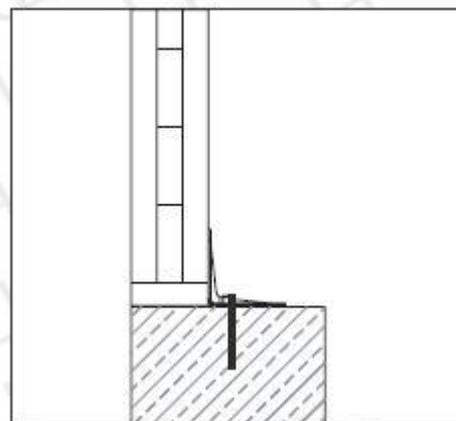


Fig.5.6 – Execução da primeira fiada e perfil transversal de uma solução tipo [22]

A Superestrutura nas casas prefabricadas pode ser bastante distinta. Efectivamente, existem sistemas que utilizam estruturas autoportantes, com pórticos muito bem definidos em que são aplicados painéis de revestimentos diversos, mais comuns nos sistemas que utilizam módulos de pequena dimensão. Estes sistemas assemelham-se aos sistemas porticados com estruturas em madeira pesada e de certa forma às estruturas em betão armado com alvenarias de tijolo de revestimento.

Por outro lado, os sistemas que utilizam módulos de grandes dimensões assemelham-se aos sistemas das casas de troncos e casas de alvenarias resistentes, constituindo muros de carga que transmitem as cargas em toda a sua extensão até às fundações.

Nos sistemas tradicionais, a superestrutura é feita com uma estrutura reticulada em betão armado ficando as lajes aligeiradas. Neste projecto, em alternativa a pilares de betão armado, poderiam ser utilizados perfis metálicos nos pilares que suportam o corpo saliente, revestindo os perfis com betão.

### 5.3.3. PAREDES EXTERIORES

As paredes exteriores apresentam diversas funções no edifício. Embora, no quadro resumo apareçam apenas nas envolventes exterior e interior, apresentam de igual forma funções estruturais (dependendo dos sistemas utilizados, como já foi referido no ponto anterior) e podem ser importantes na inserção e ocultação de instalações.

Nos sistemas prefabricados é preciso fazer uma distinção clara entre as paredes com funções estruturais e as que apresentam apenas papel de enchimento e revestimento. As paredes com funções estruturais apresentam espessuras bastante superiores e são constituídas por materiais com resistências mecânicas bastante superiores (madeiras maciças e madeiras lameladas coladas), sendo comum a utilização de paredes duplas, como o utilizado na alvenaria de tijolo.

Na figura 5.7, estão representadas duas soluções tipo de sistemas de empresas diferentes: uma solução da KLH com painel de 9,4 cms, isolamento térmico de 10 cms, convenientemente impermeabilizado e com um revestimento distinto, e a uma solução da IMOWOOD de parede dupla convencional em madeira lamelada com 180 + 45 mm e isolamento térmico de poliestireno extrudido de 45mm.

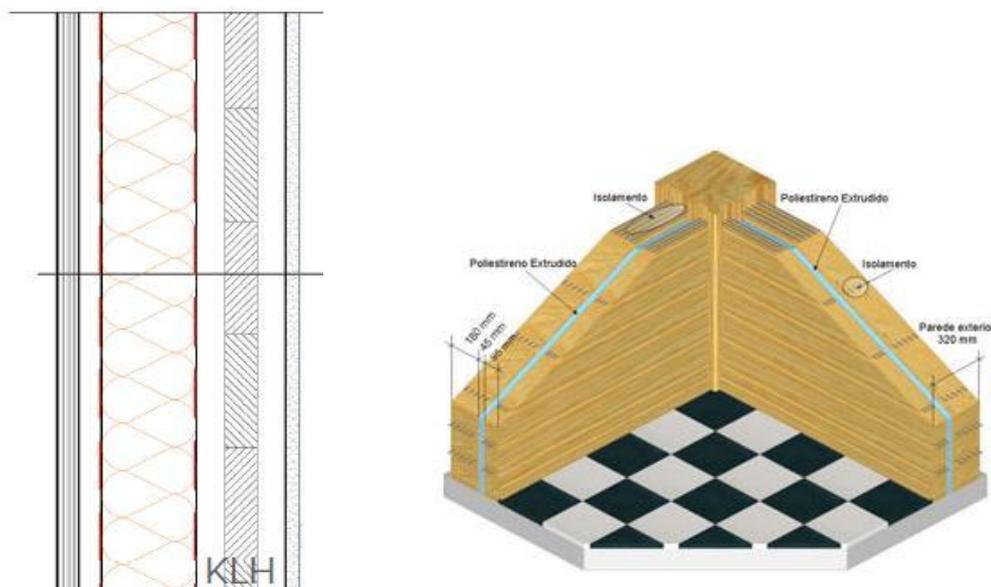


Fig.5.7 – Corte transversal de uma solução tipo KLH [22] e IMOWOOD [41]

As ligações são feitas utilizando pernos ou tirantes metálicos, em sistemas mais tradicionais, sendo que, nos sistemas mais recentes, as ligações são feitas com ligadores metálicos normalizados e certificados, alguns ficando mesmo ocultos ou então com sistemas de auto-encaixe macho-fêmea, no sentido horizontal, utilizando os montantes verticais como paramentos, dispensando outros ligadores.

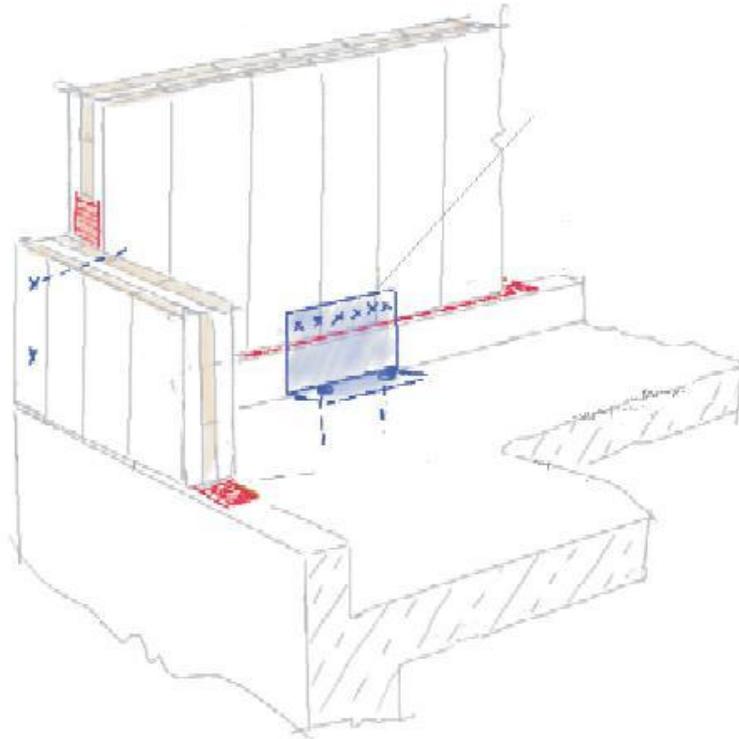


Fig.5.8 – Ligações horizontais e verticais por ligadores metálicos [22]

A figura 5.8 demonstra duas soluções tipo de ligações habitualmente utilizadas em sistemas prefabricados. As ligações topo a topo são feitas com recurso a cavilhas ou a parafusos (pernos), que em módulos de grandes dimensões devem ter comprimentos significativos de forma a travarem convenientemente os paramentos, e em módulos de pequenas dimensões estes devem ser mais frequentes exceptuando os painéis do tipo macho-fêmea, lambris. As ligações parede – laje, são realizadas com recurso a cantoneiras perfuradas, que são peças de canto perfuradas que fixam com recurso a parafusos.

Entre os paramentos é visível a existência de uma junta de dilatação, que deve sempre existir, embora muitos fabricantes defendam a perfeita estabilidade estrutural dos seus produtos. Esta junta permite absorver as variações dimensionais da madeira devido às variações de humidade e possíveis assentamentos diferenciais da estrutura, impedindo a abertura de fendas, empenamentos e outras patologias associadas a estes fenómenos.

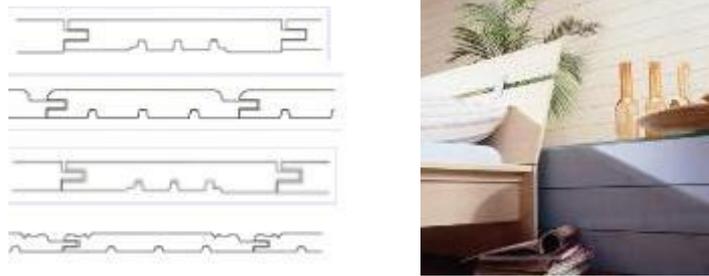


Fig.5.9 – Secção transversal de modelos de lambris e exemplo de aplicação [23]

Quanto às funções relativas aos isolamentos térmicos, acústico e em relação à humidade, as madeiras maciças e seus derivados não conseguem cumprir as exigências inerentes.

O isolamento térmico é, regra geral, um problema que pode ser desprezado pois tendo os sistemas prefabricados origem em países com climas mais rígidos apresentam sempre óptimos materiais isolantes com espessuras mais que suficientes para o cumprimento das exigências de conforto, colocados na face exterior da parede mais interior (em paredes duplas). O isolamento acústico é regra geral aconselhável pois a madeira não possui capacidade isoladora que consiga filtrar o barulho ambiente habitual nos grandes centros urbanos, podendo limitar o uso deste tipo de habitações. É também aconselhável a existência de espaço de ar entre as paredes e a colocação de uma barreira pára-vapor de modo a evitar a entrada de água e grandes variações de humidade e consequentes condensações internas.

Os revestimentos das paredes, neste sistema são muito variados, constituindo neste facto, um dos grandes pontos de interesse destas soluções.

No sistema tradicional, a solução indicada é uma parede dupla de alvenaria de tijolo de 15 + 11 cm (painel exterior e interior respectivamente), com espaço de ar de 8 cm (poliestireno extrudido 4cm e caixa-de-ar 4 cm), reboco areado corrente com 1,5 cm e estribos de ligação entre panos.

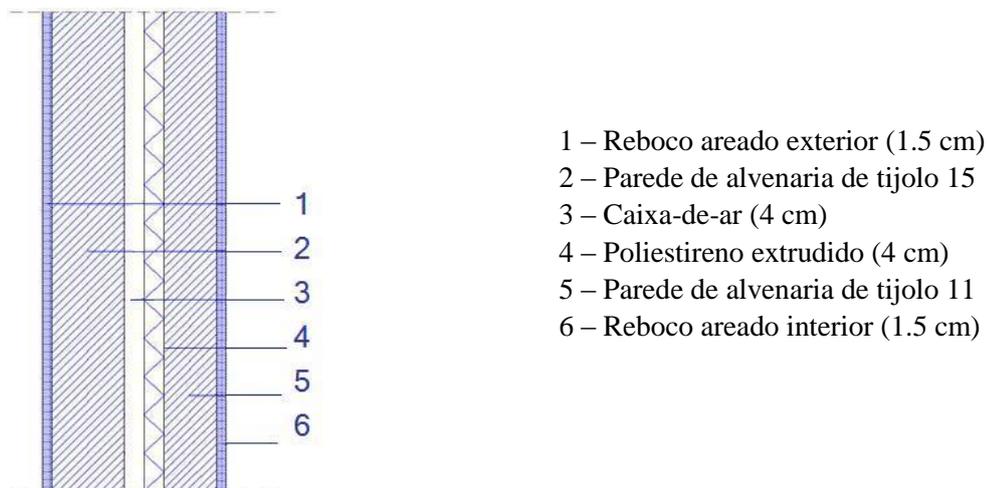


Fig.5.10 – Pormenor construtivo da parede exterior de alvenaria de tijolo

#### 5.3.4. COBERTURA

A cobertura, no projecto escolhido não aparece especificada relativamente ao tipo (plana ou inclinada), não sendo referido se existe aproveitamento das águas furtadas. Assim, será feita uma breve consideração sobre ambas as soluções por serem comuns nas estruturas prefabricadas.

Na cobertura inclinada, a solução mais adequada para cumprir essa função é a criação de uma base de estruturas triangulares de suporte. Devido à prefabricação, não existem preocupações relativas ao nivelamento das paredes não sendo necessário qualquer tipo de mecanismo de ajuste.

Os caibros devem ser instalados em intervalos normalmente espaçados de 400 a 600 mm e com um declive fixado em projecto. Dependendo dos vãos que as vigas têm de vencer, podem existir mais de dois pontos de apoio das vigas. Este facto foi no entanto atenuado pelo desenvolvimento de vigas mais resistentes feitas com materiais mais homogéneos e portanto mais fiáveis. [2]

As ligações são distintas na cumeeira e nos pontos de apoio nas paredes resistentes ou nas vigas transversais. Na cumeeira o tipo de ligação mais habitual é através de uma placa cravada, que une de uma forma sólida as duas vigas concordantes e a parede resistente, se for o caso.

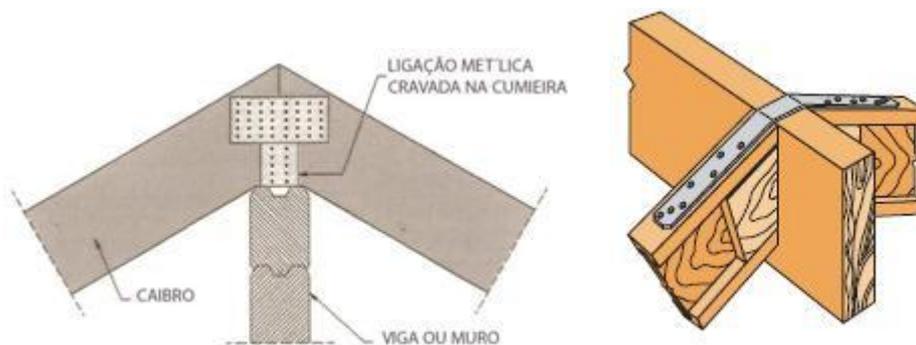


Fig.5.11 – Pormenor da ligação na cumeeira [2] [23]

A ligação nas paredes resistentes pode ser mais versátil que, dependendo da qualidade do material pode ser por parafusos ou tirantes metálicos visíveis ou ocultos ou suportes deslizantes que conseguem absorver variações dimensionais das paredes resistentes.

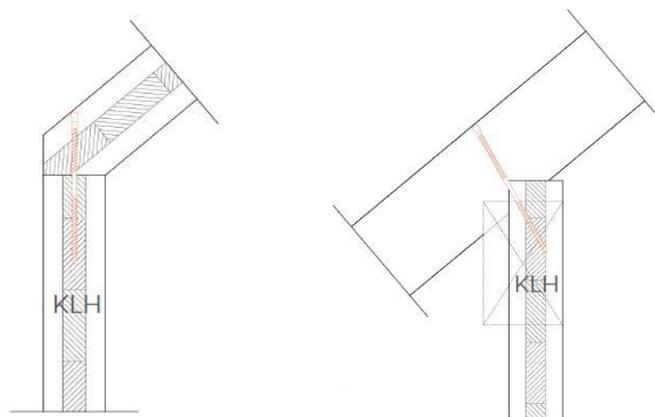


Fig.5.12 – Fixação dos caibros à fachada [22]

È ainda necessário referir que, quando os caibros coincidem ou quase com uma parede (paralelamente), devem ser colocados caibros de ambos os lados da parede, convenientemente isolados. Na existência de chaminés ou clarabóias, as vigas que invadam o espaço devem ser cortadas e suportadas por outras transversais, sendo que no caso das chaminés a distância aos caibros não deve ser inferior a 100 mm, para cumprir normas de segurança contra o fogo. [2]

As coberturas planas, nos sistemas prefabricados, são comuns aos que utilizam módulos tridimensionais. O modo de funcionamento é semelhante aos dos pavimentos, sendo colocadas vigas em I como estrutura de suporte das mesmas, ou de painéis de madeira maciça ou madeira lamelada com boa resistência mecânica. As ligações nestes casos são diferentes, pois os painéis necessitam de ligações fortes à fachada e entre si (especiais) e no caso das vigas as ligações são feitas por armaduras portantes em que as vigas apoiam e são fixadas por parafusos (figura 5.13).



Fig.5.13 – Ligação entre painéis [22] e armadura portante [23]

Relativamente às funções que respeitam à envolvente anterior, a cobertura tem exigências de isolamento térmico, impermeabilidade e os problemas associados à higroscopia. Desta forma, as soluções para suporte inclinado e plano apresentam camadas constituintes semelhantes. Para acautelar as exigências referidas a cobertura deve apresentar camada impermeável porosa, isolamento térmico e barreira pára-vapor. A principal diferença entre soluções é o facto de, na cobertura inclinada, ser necessária uma câmara-de-ar para permitir a circulação de ar, diminuindo a temperatura das camadas e evitando a condensação, separando o acabamento das camadas inferiores.

Nas coberturas planas é normal a colocação de brita ou godos por cima das camadas isolantes podendo ainda ser colocado outro tipo de acabamento quando o telhado é visitável (cerâmicos).

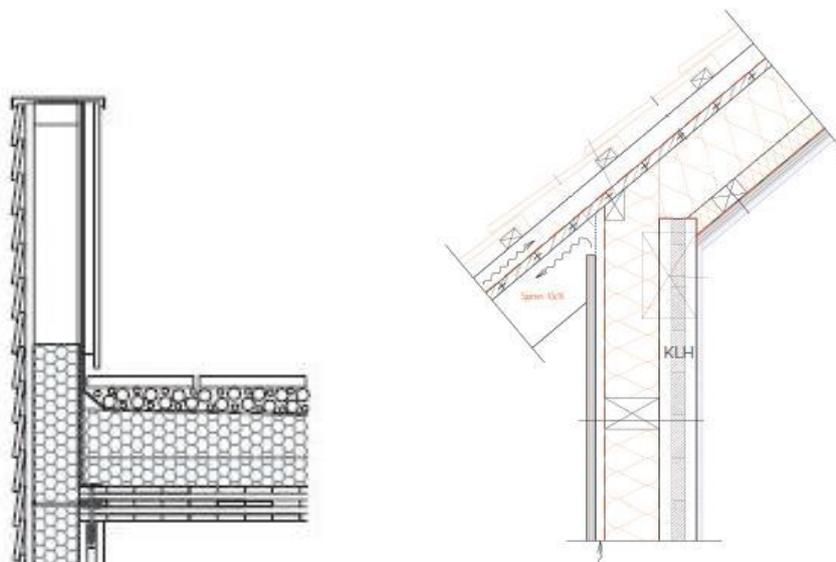


Fig.5.14 – Perfil transversal de soluções em cobertura plana e inclinada [22]

Na construção com betão armado e alvenaria de tijolo a cobertura pode igualmente ter várias soluções. Neste caso, a solução adoptada é uma cobertura plana, com laje aligeirada, camada de impermeabilização, isolamento térmico, sendo o revestimento exterior em godo.

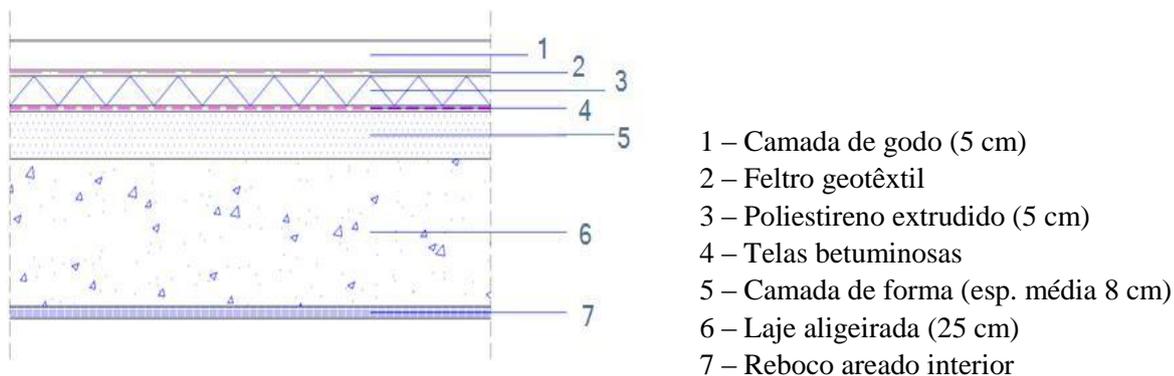


Fig.5.15 – Pormenor construtivo da cobertura

### 5.3.5. ABERTURAS

As aberturas são consideradas como sendo todas as ligações entre espaços adjacentes, entre exterior e interior, e entre interior e interior, sendo as mais comuns as portas, janelas, clarabóias, etc.

Os procedimentos associados a estes elementos, nas soluções prefabricadas, são muito distintos. Os módulos tridimensionais vão já prontos para obra, os de grande dimensão vão já com os cortes para as aberturas convenientemente realizados segundo os projectos e os módulos de pequena dimensão acarretam trabalhos mais intensos em obra.

Vãos com dimensões significativas podem mesmo obrigar à utilização de escoras, que são devidamente calculadas e pormenorizadas antes da sua utilização, sendo responsáveis por assegurar a estabilidade elástica da estrutura, impedindo assentamentos de muros e consequentemente a existência

de empenos no sistema. As escoras são conseguidas pela inserção de roscas metálicas nas bases do pilar que permitem ajustes na estrutura.

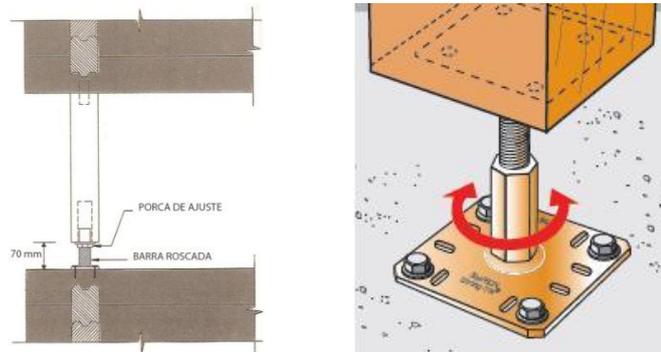


Fig.5.16 – Rosca de ajuste de assentamento [2] [23]

A instalação de janelas e portas é executada de forma semelhante. Primeiro, deve ser fixado o aro ao muro e só depois o elemento final (janela, porta, clarabóia). Este deve ser fixado sempre ao aro e nunca ao muro ou parede para estes paramentos se movimentarem livremente. Nas janelas, o espaço restante deve ser preenchido com material isolante e com uma substância com elasticidade para remate.

Nas estruturas com funcionamento tipo a alvenaria resistente, o assentamento por metro linear não pode exceder os 20 mm e 40 mm por metro linear de altura em perfis rectangulares, em janelas e portas respectivamente, e 30 mm e 60 mm para perfis redondos analogamente. [2]

No sistema tradicional, de betão armado e alvenaria de tijolo, a instalação procede-se de modo idêntico.

### 5.3.6. PAVIMENTO

O pavimento é designado como sendo a base horizontal das construções, que constitui o primeiro nível de contacto com as cargas inerentes ao mobiliário e às instalações. As cargas são posteriormente transmitidas às paredes de carga exteriores ou às vigas dos sistemas porticados, dependendo da forma como o sistema está pensado.

Os pavimentos dos sistemas prefabricados são usualmente constituídos por vigas dispostas numa dada direcção que determinam qual o sentido de transmissão de cargas, à semelhança das armaduras numa laje de betão sendo que existem excepções, principalmente ao nível dos prefabricados que utilizam módulos de grandes dimensões em que são os painéis de madeira maciça ou madeira lamelada colada que suportam directamente as cargas e as descarregam nos paramentos verticais exteriores.

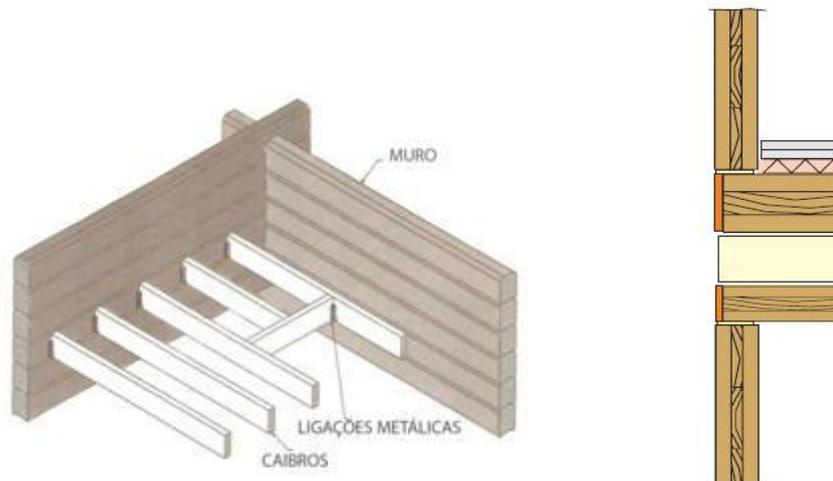


Fig.5.17 – Ligação dos pavimentos à fachada [2] [22]

Na realização dos pavimentos, é necessário averiguar a necessidade de realização de aberturas para colocação de caixa de escadas para ligação entre pisos. No caso de pisos suportados por vigas, pode originar o corte das mesmas, devendo existir outras posicionadas transversalmente para travar o paramento e, no caso de painéis contínuos, esta anomalia também deve ser considerada nos cálculos.

Em termos funcionais, os pavimentos terão exigências distintas consoante a sua colocação no piso térreo ou no piso elevado. No pavimento térreo, o pavimento deve ter uma caixa-de-ar e isolamento térmico, que nos sistemas com vigas costuma estar colocado de forma a preencher os espaços entre as mesmas, ligeiramente comprimido. Deve existir uma barreira pára-vapor habitualmente colocada na parte superior do isolamento, que é indispensável de forma a garantir o bom funcionamento do soalho pois as variações de humidade podem originar instabilidades dimensionais e o destacamento do soalho ou formação de bolhas (depende do revestimento adoptado). Estas medidas devem ser também tomadas sobre locais frios (em pisos superiores), garagens ou lavandarias.

Na separação entre pisos, outra exigência que deve ser estudada é a respeitante ao isolamento acústico. Deve ser sempre prevista uma camada de isolamento, principalmente em projectos como o apresentado em que as zonas de descanso estão no nível térreo e não no piso superior. Este isolamento quando os painéis são duplos, figura 5.17, deve ser colocado entre painéis, senão deve ser colocado sobre a estrutura resistente, figura 5.18.

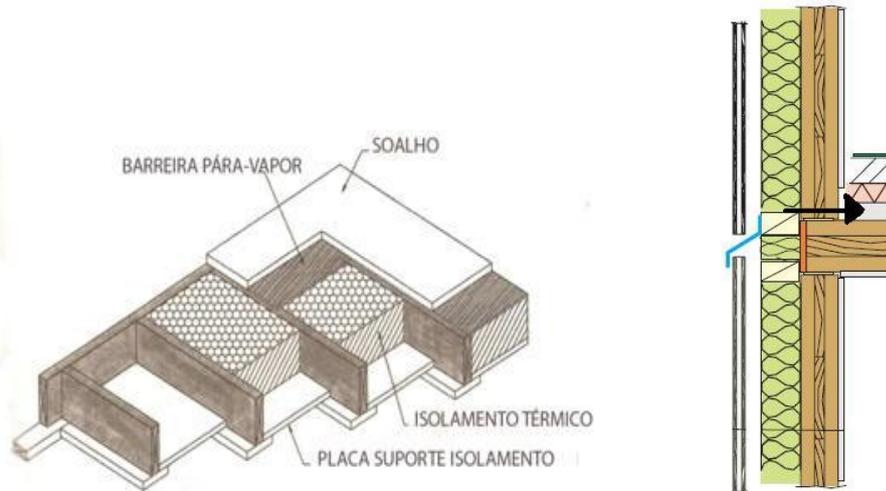


Fig.5.18 – Pormenor pavimento [2] e camada de isolamento acústico [22]

O pavimento na solução em alvenaria de tijolo tem exigências semelhantes, sendo obtido com laje aligeirada com revestimento em soalho, exceptuando na cozinha, instalações sanitárias, lavanderia e garagem onde são utilizados cerâmicos.

### 5.3.7. PAREDES INTERIORES

As paredes interiores são responsáveis pelas divisões internas num edifício não tendo por isso exigências tão pronunciadas como as paredes exteriores.

Estes paramentos, analogamente ao verificado anteriormente, dependem do tipo de sistema prefabricado utilizado. Em sistemas semelhantes aos porticados, são utilizadas travessas superiores e inferiores, com montantes verticais fixados a esses elementos (funcionamento de paredes de tabique) sendo o seu preenchimento feito com material de isolamento e aplicados revestimentos que podem ser muito diversos.

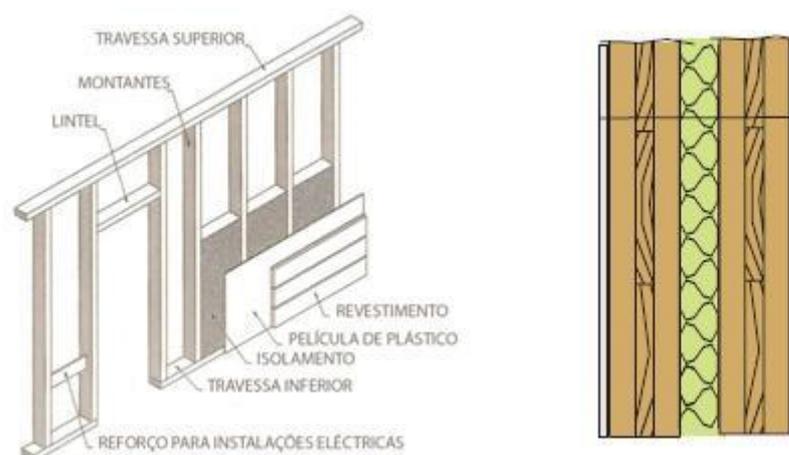


Fig.5.19 – Parede interior, estilo tabique [2] e sistema alternativo [22]

Os sistemas prefabricados utilizam muitas vezes um sistema alternativo, com painéis contínuos duplos com isolamento no interior, em derivados da madeira, sendo os mais comuns, o OSB e a madeira lamelada colada.

As ligações entre estes paramentos e a restante estrutura são feitas com ligadores metálicos, sendo que, nas paredes de tabique, os paramentos vão sendo ligados aos travessos e nas extremidades aos paramentos resistentes e nos painéis contínuos as ligações são feitas directamente à restante estrutura. Nas paredes de tabique é aconselhável a utilização de ligações ajustáveis de forma a permitir a movimentação dos paramentos, precavendo variações dimensionais e nos painéis contínuos a utilização de juntas de assentamento, com sistemas de funcionamento semelhantes aos apresentados nas figuras 5.16 e 5.8 respectivamente.

No sistema em alvenaria de tijolo a solução adoptada é uma parede simples de tijolo de 11 com revestimento de reboco areado em ambas as faces da parede.

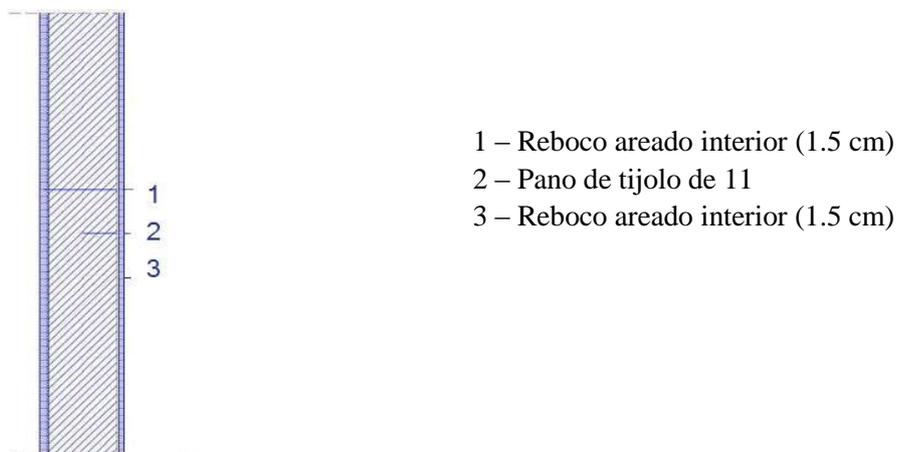


Fig.5.20 – Pormenor construtivo da parede interior de alvenaria de tijolo

### 5.3.8. INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

As instalações e equipamentos referidos, são todos os componentes que pertencem à rede de distribuição de água e de saneamento básico, de electricidade de distribuição de gás e a outros equipamentos responsáveis por redes que aumentam o conforto das pessoas nas suas habitações, como aquecimento, internet, ventilação, etc.

Os equipamentos, nas casas de madeira sempre tiveram restrições mais específicas que no caso da alvenaria de tijolo devido à maior dificuldade de colocação, pois não é aconselhável, nem fácil colocar instalações nas paredes maciças pelos problemas associados à estabilidade dimensional (assentamentos da estrutura). Actualmente, estes problemas são mais fáceis de resolver devido aos progressos tecnológicos associados aos novos materiais à base de madeira.

#### 5.3.8.1. Electricidade e sistemas análogos

A rede eléctrica é um sistema que necessita de abranger naturalmente toda a casa. As principais dificuldades relacionadas com estes sistemas prendem-se com a impossibilidade de passar os fios eléctricos nas paredes maciças. Para contornar este problema, desde cedo se criaram soluções usando

materiais mais leves à base de madeira, sendo criados compartimentos ou aproveitando espaços existentes na estrutura. As soluções mais utilizadas passam pela inserção dos fios nos rodapés, ou nas molduras do tecto (também frequentemente apelidadas de “roda teto”).

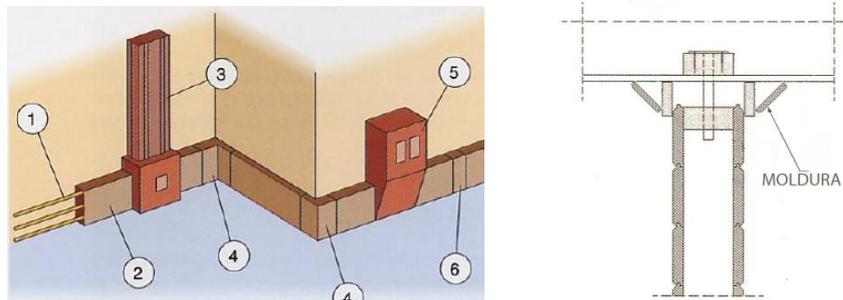


Fig.5.21 – Instalação eléctrica no rodapé [63] e moldura [2]

Nos sistemas prefabricados, este problema não é gravoso pois é habitual a utilização de paredes de painéis duplos, sendo utilizado o espaço de ar para passagem das ligações. De igual forma, os novos materiais à base de madeira, sendo mais homogéneos, são mais previsíveis, o que torna mais fácil o cálculo das consequências associadas à criação de rasgos nos painéis.

A instalação deve ficar muito bem protegida de acções exteriores, sendo aconselhável manter uma pequena folga para precaver assentamentos diferenciais da estrutura, devendo no entanto a instalação estar bem aconchegada por ligadores metálicos, ou com o fio em excesso dobrado para não poder ser puxado para fora.

É importante uma boa coordenação com a arquitectura, para evitar acções de improviso por esquecimentos que comprometam o aspecto final da obra. Os sistemas tipo chave-na-mão são mais interessantes pois acautelam estes problemas.

#### 5.3.8.2. Rede de Águas e saneamento

As instalações de água e saneamento nas casas de madeira apresentam as mesmas restrições que as das instalações eléctricas, nomeadamente, a impossibilidade de ser colocadas em madeira maciça e o acautelamento de possíveis assentamentos.

Relativamente às construções em alvenaria de tijolo são relativamente semelhantes exceptuando o facto de as instalações serem mais frequentemente inseridas no tecto e pavimentos. Esta necessidade foi em grande parte reduzida com a passagem de casas em madeiras maciças para casas prefabricadas.

No entanto, para mitigar estes problemas é também usual tentar colocar os compartimentos de uma habitação com maiores necessidades de tubagem (cozinha e instalações sanitárias) numa mesma zona da casa e em habitações de dois andares fazer a continuação da tubagem num mesmo plano.

Das redes em estudo, a primeira a ser implantada deve ser a rede de saneamento, pois é constituída por tubagens rígidas, condicionando fortemente a solução final adoptada. A rigidez pode também ser crítica em caso de assentamento da estrutura. Para acautelar possíveis problemas, são utilizados dispositivos com juntas de assentamento, principalmente em edifícios com mais de um piso e no caso de haver ventilação de gases pela cobertura. [3]

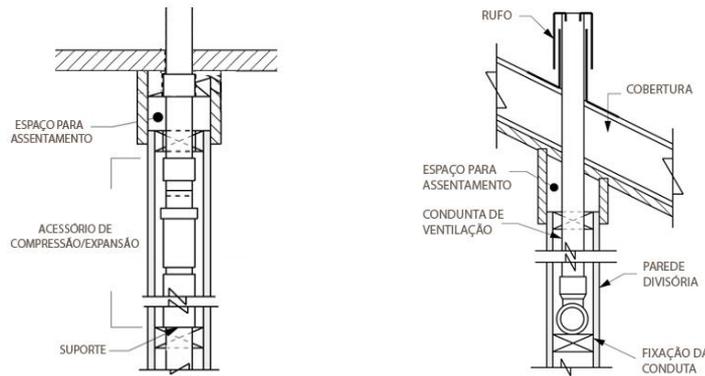


Fig.5.22 – Juntas de assentamento ao nível do pavimento e cobertura [3]

O sistema de distribuição de água é bastante mais simples de implementar. Embora as soluções de tubagens mais frequentes sejam rígidas, estas podem ser mais facilmente substituídas por outras mais flexíveis. Uma solução muito popular é a adopção de uma solução mista entre tubos rígidos e flexíveis que absorva os movimentos da estrutura.

### 5.3.8.3. Sistemas de aquecimento

Os sistemas de aquecimento, actualmente, são muito diversos (fogão a lenha, caldeira, aquecedores, ar condicionado). No entanto, numa casa de madeira o que oferece mais preocupações é o que faz recurso a lareira, tendo um conjunto de regras que devem efectivamente ser cumpridas para evitar riscos de incêndio. Esta solução, em primeiro lugar, tem um peso elevado, o que à partida se reflecte na necessidade de um reforço das fundações e das secções da estrutura onde esta carga está aplicada. O mais comum é o recurso ao ensoleiramento geral, com reforço com malha de aço na zona de aplicação da carga. [2]

Neste sistema, a exaustão dos fumos é regularmente feita por um de dois sistemas: chaminé em alvenaria de tijolo ou conduta metálica.

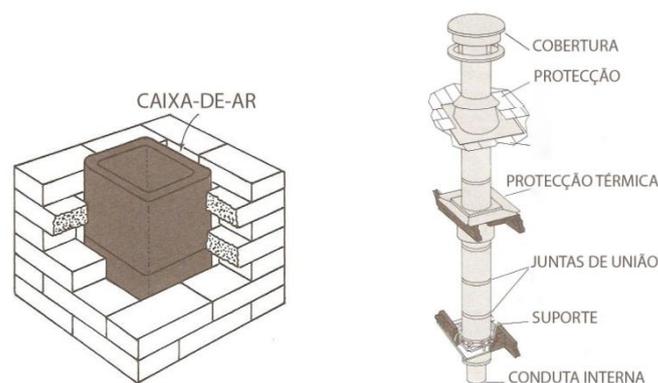


Fig.5.23 – Chaminé em alvenaria de tijolo e em conduta metálica [3]

Estas duas soluções são ambas interessantes mas distintas. A chaminé em alvenaria de tijolo é bastante mais difícil de manter limpa, sendo aconselhável um sistema de ventilação próprio a partir do exterior (facilitado pelo facto das casas de madeira serem sobrelevadas), sendo no entanto economicamente acessível.

A conduta metálica apresenta grandes vantagens, quando aplicada correctamente. Esta deve ser feita em tubo duplo isolado, devendo ser envolto em material isolante (frequentemente lã de rocha) e em papel de alumínio. Este sistema apresenta maior durabilidade, versatilidade em termos de movimento e é mais fácil de limpar, traduzindo-se num preço acrescido.

Tratando-se de sistemas sensíveis, estes têm algumas regras a que devem obedecer. O Regulamento Geral das Edificações Urbanas, RGEU [64], apresenta um capítulo dedicado à evacuação de fumos e gases, o capítulo VI. Os principais pontos a ter em atenção estão no Art. 111º. que impõe que estes sistemas mantenham uma distância de 0,20 metros em relação a qualquer elemento de madeira e no Art. 113º. que implica uma elevação das condutas pelo menos 0,5 m acima do ponto mais alto do edifício e de edifícios contíguos num raio de 10 m e que as bocas não devem distar menos de 1,50 m de quaisquer vãos de compartimentos de habitação.

O desrespeito destas regras pode ter graves consequências e está sujeito a coimas.



Fig.5.24 – Consequência de incêndio causado em chaminé de conduta metálica [65]

#### 5.3.8.4. Rede de distribuição de gás

A rede de distribuição de gás apresenta requisitos semelhantes aos da rede de distribuição de água e por isso, as soluções adoptadas são assim comparáveis. A principal diferença consiste nas consequências da incorrecta instalação deste sistema, muito mais gravosas. Desta forma, a utilização de juntas de assentamento é muito aconselhável. A atenuante, neste caso, prende-se com a pouca utilização de gás numa residência. O uso de gás é praticamente exclusivo do fogão e de um possível esquentador, não sendo necessárias grandes tubagens e devendo estas estar reduzidas ao mínimo indispensável no interior da habitação.

#### 5.3.8.5. Ventilação

A ventilação numa habitação está sempre associada ao teor de humidade presente e à qualidade do ar interior. Esta é assim necessária, tendo em conta o comportamento dos materiais e o conforto dos utilizadores do edifício.

Os problemas e patologias associadas a uma má ventilação da envolvente exterior já foram sendo explicitados ao longo dos pontos anteriores. Assim, a ventilação é muito importante para regular os níveis de humidade interior e exterior, impedindo variações elevadas nos elementos construtivos que

podem originar variações dimensionais e condensações devidas a permeabilidades ao vapor muito distintas.

A ventilação do espaço interior, por outro lado é muito importante para a regulação de algumas substâncias características do ar para valores aceitáveis para a saúde humana (valores máximos de dióxido e monóxido de carbono, partículas suspensas, formaldeído, etc.). Esta ventilação é cada vez mais relevante pois a melhoria de soluções construtivas em termos de estanquidade e as necessidades de poupança de energia, têm facultado ventilações deficientes. Para solucionar este problema e retomar taxas de renovação de ar satisfatórias é preciso projectar um sistema eficaz de sistemas de admissão e remoção de ar.

#### **5.4. ANÁLISE TÉCNICA**

Os edifícios devem possuir características que visam satisfazer as necessidades dos indivíduos que os habitam. Estas exigências são denominadas de exigências funcionais e servem como base de referência para o processo de construção.

O papel dos arquitectos e engenheiros passa pela procura da melhor resposta possível a estas exigências através da criação e conjugação dos diversos órgãos que em conjunto devem realizar as funções necessárias para a completa satisfação das necessidades dos utentes.

A aplicação de exigências funcionais a órgãos de edifícios facultou a criação de métodos de avaliação qualitativos e quantitativos com o objectivo de avaliar o grau de eficiência dos sistemas construtivos, permitindo igualmente salvaguardar a segurança e saúde dos utentes, e de certa forma, a integridade e perícia dos projectistas e construtores.

Esta avaliação é baseada em cálculos e ensaios, métodos experimentais e experiência de peritos levando à necessidade de criar normas e regulamentos onde esta informação se encontra organizada, e que regem a construção.

Obviamente, algumas exigências funcionais (estruturais, segurança contra incêndios, saúde) são mais relevantes que outras, não sendo expectável a existência de regulamentação para todas elas. Para avaliar as restantes exigências, as informações necessárias devem ser recolhidas em normas, especificações, documentos de carácter pré-normativo e no caso de construção inovadora, a partir de Guias ou Relatórios técnicos da UEAtc e guias EOTA.

Como existe um número crescente de produtos e soluções, foi criado um sistema de classificação que avalia a conformidade de um produto de construção com um determinado conjunto de normas ou especificações técnicas. Foi assim criada uma directiva (Directiva de Produtos de Construção, DPC) que atribui as designações de “certificado de conformidade CE” e “declaração de conformidade CE”, consoante a avaliação de conformidade seja realizada por organismos independentes acreditados ou não acreditados, respectivamente. Qualquer das designações permite a atribuição de marcação CE.

A avaliação técnica apoia-se assim nos documentos, que se apresentam de seguida [1]:

- Regulamentos;
- Normas;
- Especificações técnicas;
- Documentos pré-normativos;
- Directivas, Guias ou Relatórios técnicos UEAtc;
- Guias EOTA;
- Documentos de homologação;

- Apreciações preliminares de soluções inovadoras;
- Procedimentos de certificação.

Para avaliar as exigências inerentes ao edifício, nas últimas décadas, tem sido utilizado um outro conceito, a exigência de desempenho. Estas exigências podem ser definidas como a avaliação qualitativa ou quantitativa de um elemento em fase de construção e são complementadas pela averiguação se são realmente cumpridas. Embora, sejam normalmente aplicadas a elementos ou sub-sistemas de um edifício, nesta dissertação serão aplicadas ao sistema em si, fazendo referência aos elementos críticos.

Neste trabalho, será feita uma análise principalmente qualitativa, pois é a que melhor permite caracterizar as exigências e promover a comparação entre as soluções em madeira e em betão e alvenaria de tijolo.

O quadro 5.3 apresenta uma listagem das exigências de desempenho dos sistemas construtivos, adaptada de [1].

Quadro 5.3 – Exigências de desempenho de um sistema

Código	Exigência de desempenho
1	Estabilidade estrutural
2	Segurança contra riscos de incêndio
3	Segurança na utilização
4	Segurança contra intrusão
5	Estanquidade à água
6	Estanquidade ao ar
7	Conforto térmico e poupança de energia
8	Pureza do ar
9	Conforto acústico
10	Higiene
11	Conforto visual
12	Conforto tátil
13	Facilidade de limpeza e manutenção
14	Adaptação à utilização normal
15	Durabilidade
16	Facilidade de transporte
17	Facilidade de montagem e desmontagem
18	Sustentabilidade

5.4.1. ESTABILIDADE ESTRUTURAL

As exigências relativas à estabilidade estrutural estão associadas aos elementos que suportam a estrutura desde a sua base até à cobertura. O edifício tem de estar pensado de forma a resistir às solicitações habituais, de carácter permanente, e solicitações de ocorrência excepcional ou acidental, de carácter aleatório.

As solicitações de ocorrência excepcional (sismos ou catástrofes naturais) ou acidental (queda de objectos, explosões, etc.) são sempre analisadas conforme as probabilidades de ocorrência, não sendo possível garantir o perfeito comportamento das estruturas. Em certos casos é apenas garantida a estabilidade da estrutura pelo tempo suficiente para evacuação dos habitantes.

A análise da estabilidade de estruturas de madeira é assim em tudo semelhante à verificação realizada em estruturas de betão armado.

As principais dificuldades para a execução dos projectos de estruturas de madeira prendem-se com o desconhecimento das características das madeiras, uma vez que o portfolio destes materiais é extenso. A introdução de novos materiais mitigou estes problemas, pois os novos compósitos sendo mais homogéneos, permitem um conhecimento mais profundo e fiável.

Os instrumentos para o cálculo e verificação de estabilidade deverão ser preferencialmente o Eurocódigo 1 [56] para a quantificação de acções e o Eurocódigo 5 [55] para a verificação de estabilidade das estruturas.



Fig.5.25 – Fluxograma explicativo do modo de execução de projectos de estruturas [66]

Neste processo, as principais dificuldades advêm da obrigatoriedade de verificar as vibrações, estado limite de utilização, e o controlo de deformações, estado limite último, da dificuldade em calcular as

ligações e a forma como o tipo de ligação influencia os esforços a que as peças estão sujeitas. Como já foi referido, no capítulo 3, a temperatura e humidade influenciam a capacidade resistente das madeiras.

Relativamente às soluções em análise, embora possam ter sistemas distintos no que respeita à distribuição de esforços, estrutura reticulada ou utilização de paredes resistentes, ambos são perfeitamente capazes de garantir as exigências de estabilidade quando devidamente dimensionadas e projectadas.

A principal diferença entre sistemas deve-se à menor densidade da madeira comparativamente ao betão e ao rácio conseguido pelos novos materiais resistência/peso. O facto dos sistemas de madeira serem muito compactos e leves, e se estiverem pensados para suportar assentamentos diferenciais, permite que a estrutura tenha bons comportamentos em relação aos sismos. Efectivamente, uma casa de madeira pode resistir a abalos com intensidade de 8 na escala de Richter, sendo considerada como construção anti-sísmica [3].

Podem ser mais interessantes igualmente em caso de desmoronamentos e roturas por solicitações acidentais, devido à maior leveza dos materiais.

#### 5.4.2. SEGURANÇA CONTRA RISCOS DE INCÊNDIO

A segurança ao fogo de um edifício é umas das exigências mais relevantes, sendo que as estruturas de madeira apresentam a reputação de ter um fraco desempenho.

A segurança contra o fogo num edifício não significa que este não permita a deflagração de um incêndio. O edifício deve ser projectado de forma a assegurar estabilidade por um tempo determinado possibilitando a sua evacuação em condições de segurança, dificultando a propagação do fogo e fumo no seu interior e limitando a propagação do fogo aos edifícios vizinhos. Deve também estar pensado de forma a facilitar a intervenção dos serviços de socorro.

A legislação sobre segurança contra incêndios encontra-se dispersa em um grande número de documentos avulsos. O documento mais relevante é o Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndios, RGSCIE [67] que foi recentemente actualizado. Assim, no fim de 2008 já foi divulgado o novo regulamento geral, denominado Regime Jurídico de SCIE constituído pela Autoridade Nacional de Protecção Civil, ANPC. [68]

A avaliação do risco de incêndio, comporta duas classificações muito específicas dos materiais constituintes de um sistema, avaliando a sua reacção ao fogo e a resistência ao fogo.

##### 5.4.2.1. Reacção ao fogo e resistência ao fogo

Entende-se por reacção ao fogo como sendo o comportamento face ao fogo dos materiais de construção, considerando em termos do seu contributo para a origem e desenvolvimento do incêndio.

Para avaliar a reacção ao fogo de um material, estes são submetidos a ensaios executados segundo especificações do LNEC, E365 a E371, semelhantes aos idealizados nas normas francesas. Os materiais, antes de ser submetidos a ensaios, são distribuídos consoante a sua tipologia pelos seguintes grupos:

- Grupo A – materiais flexíveis, com espessura inferior a 5 mm, aplicados sem ligação directa sobre um elemento de suporte;

- Grupo B – materiais flexíveis, com espessura superior a 5 mm, aplicados sem ligação directa sobre o suporte;
- Grupo C – pinturas e revestimentos de paredes e tectos, sobre o elemento de suporte;
- Grupo D – revestimentos de piso assentes sobre o elemento de suporte.

Mediante os resultados dos ensaios os materiais são classificados, como descrito no quadro 5.4.

Quadro 5.4 – Classes de reacção ao fogo [69]

Classe	Designação
M0	Materiais não combustíveis
M1	Materiais não inflamáveis
M2	Materiais dificilmente inflamáveis
M3	Materiais moderadamente inflamáveis
M4	Materiais facilmente inflamáveis

A regulamentação portuguesa apresenta algumas lacunas referentes à produção de fumos e de gases, não quantificando estes parâmetros para avaliação. Existem no entanto outras classificações como a proposta pela Comissão Europeia, publicada no Jornal Oficial das Comunidades Europeias e formalizada como 2003/632/CE. Nesta dissertação é feito um paralelo entre as classificações, pois os produtos aparecem classificados normalmente segundo as classes europeias.

Produtos de construção – excepto pavimentos			
	Euroclasses		Antigas Exigências
	(Produção de fumo)	(Produção de gotículas)	
A1	-	-	M0
A2	s1	d0	M0
A2	s1	d1	M1
	s2	d0	
	s3	d1	
B	s1	d0	M1
	s2	d1	
	s3	-	
C	s1	d0	M2
	s2	d1	
	s3	-	
D	s1	d0	M3
	s2	d1	M4
	s3	-	(Não gotejante)
E – F	-	-	M4

Fig.5.26 – Conversão da classificação da reacção ao fogo [70]

A resistência ao fogo de um material consiste no tempo que decorre desde o início de um processo térmico normalizado a que um elemento é submetido, até ao momento em que ele deixa de satisfazer determinadas exigências (estabilidade, estanquidade e isolamento térmico) relacionadas com as suas funções.

A especificação LNEC E364 [71], avalia a resistência ao fogo dos materiais de construção e determina quais os métodos de ensaio e os critérios de avaliação correspondentes. A representação da classe

resistente de um elemento é dada pela indicação do símbolo que designa a qualificação atribuída, seguida da indicação do escalão de tempo em que é válida a qualificação atribuída.

As qualificações existentes são:

- Classe R (EF – estável ao fogo) – aplicável a elementos aos quais se exigem apenas funções de suporte;
- Classe E (PC – pára-chamas) – aplicável a elementos de compartimentação, no que respeita à estanquidade;
- Classe EI (CF – corta-fogo) – aplicável a elementos com funções de compartimentação, no que respeita à estanquidade e isolamento térmico.

Os escalões de tempo habitualmente utilizados são: 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 e 360, correspondendo o número ao limite inferior do intervalo em que cada escalão se insere.

As principais exigências relacionadas com a tipologia de habitação em estudo, unifamiliar, presentes no regulamento de SCIE estão explicitadas no quadro 5.5

Quadro 5.5 – Exigências mínimas numa habitação unifamiliar [67]

Função	Art.	Exigência
Suporte	15.º	EF 30
Compartimentação	15.º	CF 30
Revestimento exterior	16.º	M3
Caixilharias e encerramento de vãos	16.º	M3
Paredes de empena	16.º	CF60 e 0,5 m acima da cobertura
Coberturas	17.º	M3
Escadas interiores	18.º	M0
Escadas interiores enclausuradas	18.º	CF 30

As exigências referidas podem apresentar exceções e existem outras, menos relevantes mas que não invalidam a consulta do regulamento de SCIE.

#### 5.4.2.2. Comparação entre sistemas

Ao se fazer a análise do comportamento ao fogo das estruturas de madeira, é necessário falar dos problemas que lhe são muitas vezes atribuídos. Como já foi referido no capítulo sobre madeira maciça, a madeira é um material combustível, que entra em combustão por volta dos 300° C mas que vê este processo abrandado pela formação de uma camada de carvão que reduz a velocidade de carbonização média para valores de 0,6 a 0,7 mm/min. [7]

Este processo permite à madeira manter a sua estabilidade estrutural por tempo suficiente para uma evacuação eficaz dos edifícios. Se o incêndio for controlado a tempo, as habitações podem ficar

utilizáveis em pouco tempo através de uma decapagem da camada carbonizada e da aplicação de um verniz, devendo por isso ser evitada a utilização de peças delgadas.

Os sistemas que utilizam derivados, apresentam performances idênticas ou ainda melhores que as madeiras maciças pois as velocidades de carbonização conseguem ser inferiores quando são usadas madeiras de árvores folhosas (hardwood), pois aquelas velocidades crescem inversamente com a densidade. Dos derivados considerados verificou-se que quase todos apresentam velocidades entre os 0,6 e 0,7 mm/min excepto o X-Lam que apresenta 0,76.

Material		$\beta_0$ in mm/min
Solid softwood	with $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$ and min $a \geq 35 \text{ mm}$	0,8
Glued laminated softwood	with $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,7
Wood panels	with $\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ and $t_p = 20 \text{ mm}$	0,9
Solid hardwood	with $\rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,5
Glued laminated hardwood	with $\rho_k \geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,5
Oak		0,5
Solid hardwood	with $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,7
Glued laminated hardwood	with $\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,7
Plywood	with $\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ and $t_p = 20 \text{ mm}$	1,0
Wood-based panels	with $\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$ and $t_p = 20 \text{ mm}$	0,9

Fig.5.27 – Velocidades de combustão [72]

O principal inconveniente dos sistemas em madeira tem a ver com a classificação da reacção ao fogo. Uma madeira maciça não tratada apresenta uma classificação M3 ou M4, que habitualmente são superiores às dos outros materiais de construção, M0 a M1 (betão, aço, cerâmicos). Os valores da madeira tratada, descem facilmente com a aplicação de produtos de revestimento com boa reacção ao fogo (M1). O mesmo se sucede com os derivados da madeira. Observando os catálogos e certificados dos produtos verifica-se que o kerto e o X-LAM são classificados como M3 e os restantes como M4 (conversão do sistema proposto pela CE).

No entanto, a classificação correntemente adoptada é a que avalia a resistência ao fogo, pois no interior das casas, existem sempre materiais combustíveis, sendo impossível evitar a deflagração de incêndio. Em ambos os sistemas, madeira e alvenaria, a probabilidade de deflagrar incêndio advém dos elementos no interior (mobiliário, tecidos).

Analisando os sistemas em madeira e em alvenaria, por este prisma, verifica-se que ambos cumprem as exigências mínimas, embora em caso de incêndio com temperaturas muito elevadas a madeira apresente melhor comportamento. Em incêndios, que atinjam os 1000°C os outros materiais construtivos apresentam grandes diminuições de performance, o betão perde 90% da sua resistência aos 540°C e o aço 50% entre os 500 e 700°C, enquanto a madeira mantém as suas propriedades resistentes embora vá diminuindo a espessura. [3]

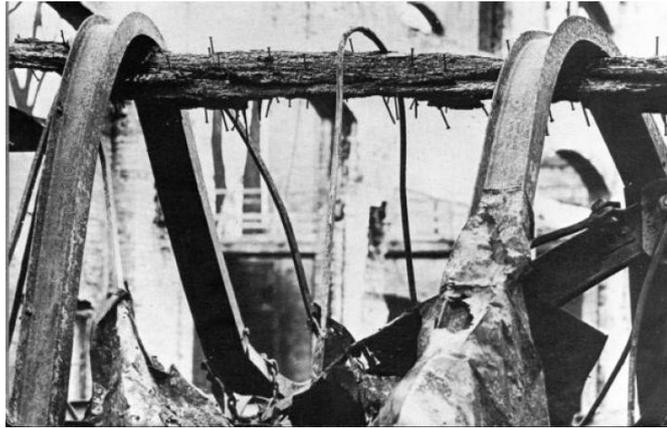


Fig.5.28 – Vigas de aço e madeira após incêndio [72]

Outra vantagem associada às estruturas de madeira tem a ver com os gases libertados nos incêndios. A estrutura de madeira tem uma combustão “limpa” sendo que liberta principalmente vapor de água e dióxido de carbono, inversamente às estruturas de betão que libertam maiores quantidades de monóxido de carbono, metano e hidrocarbonetos.

#### 5.4.3. SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO

Os elementos constituintes de um edifício devem ser projectados e executados de forma que permitam uma utilização normal sem que os utentes corram riscos inaceitáveis de acidente. [1]

A directiva dos produtos de construção, DPC, apresenta como exemplos de acidentes inaceitáveis, o escorregamento, queda, queimadura, electrocussão, etc. De igual forma, é necessário eliminar saliências perigosas e cortantes e rugosidades injustificadas.

Estas exigências são facilmente cumpridas pelas soluções em estudo, sendo que dependem mais de um projecto bem executado e bem cumprido, do que das soluções em si. No entanto, é mais fácil a existência de arestas cortantes em soluções de madeira, com ligações mal efectuadas e maior rugosidade de que em alvenarias por rebocos mal aplicados.

A avaliação destas exigências é normalmente feita por peritagens não havendo disposições regulamentares aplicáveis.

#### 5.4.4. SEGURANÇA CONTRA INTRUSÃO

A segurança contra intrusão pretende avaliar a facilidade com que pessoas insectos ou outros animais conseguem entrar numa casa. Em relação a pessoas e animais, são avaliados os elementos consoante a sua robustez, sendo os mais críticos as portas, janelas, clarabóias (aberturas exteriores). Existe uma noção que é relativamente fácil de penetrar numa casa de madeira pelo seu aspecto frágil mas tal não se verifica, sendo esta mais perene que uma de alvenaria. A facilidade de transposição depende principalmente das soluções adoptadas para portas e janelas.

Em relação aos insectos, o problema passa pela existência de aberturas para ventilação ou má ligação de paramentos que, nos sistemas actuais, são antecipados pela colocação de redes mosquiteiras e por ligações cada mais fortes e eficazes, tornando os paramentos estanques.

A avaliação é igualmente feita por peritos qualificados.

#### 5.4.5. ESTANQUIDADE À ÁGUA

A estanquidade à água é um problema que afecta não só as aberturas para o exterior como pode afectar toda a envolvente exterior.

Relativamente à água proveniente do exterior é preciso ter em conta a pressão limite de estanquidade ou valor máximo de pressão estática do ar para a qual a estanquidade se mantém assegurada. As infiltrações resultam de água proveniente de acção combinada da chuva e vento, e contacto directo da água estagnada com um elemento da envolvente, por exemplo.

##### 5.4.5.1. Estanquidade de aberturas e janelas

As janelas são dispositivos com requisitos em relação à estanquidade sendo classificados consoante os limites de pressão. Os ensaios que permitem avaliar a estanquidade de janelas e portas estão especificados na EN 1027:2000 [73] estando a classificação discriminada na EN 12208:2000 [74].

As paredes são outros elementos sensíveis, nomeadamente quando não existem camadas de impermeabilização.

Os principais problemas são causados pela existência de fissuras nos paramentos. Para acção da gravidade, uma fissura com mais de 0,5 mm é suficiente, para haver penetração do líquido no material e para acções combinada de ar e vento, uma fissura com 0,1 mm apresenta o mesmo resultado. [3]

Quando as acções exercidas são intensas, podem originar grandes penetrações de humidade que acumulam nos paramentos interiores, que além da diminuição de resistência da estrutura (já referido), aquando da secagem deixam manchas inestéticas, que podem ser acompanhadas pela formação de bolores ou efluorescências.



Fig.5.29 – Penetração da água nas paredes por acção da gravidade [3]

A estanquidade à água tem de ser verificada da mesma forma pela sua proveniência do solo. Esta pode-se manifestar por pressão exercida pela camada aquífera no seu nível mais elevado ou por capilaridade das paredes ou pavimentos.

Para acautelar este problema, as medidas a adoptar é a criação de sistemas de drenagem na periferia das fundações, já ilustrado no capítulo 4, e na colocação de camada impermeabilizante, entre a estrutura resistente e o solo.

Este fenómeno, capilaridade, é devido à existência de espaços vazios (porosidade), que formam pequenos canais, que quando sujeitos a pressões, absorvem e transportam água, originando fenómenos de humidade ascensional.

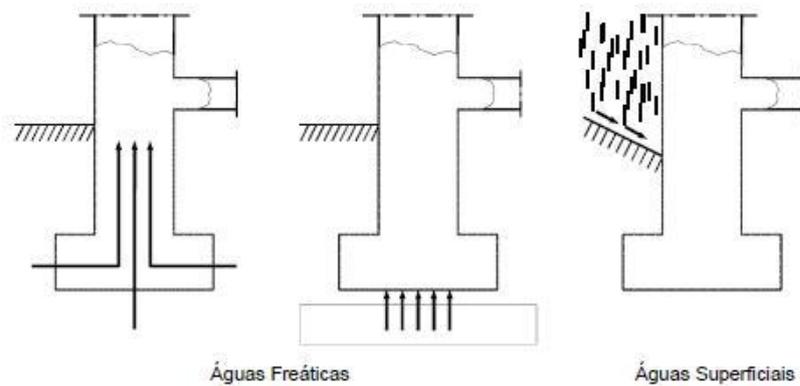


Fig.5.30 – Formas de humedificação de paredes em contacto com o terreno [63]

A outra proveniência da água a ter em conta é o interior. É preciso avaliar a existência de infiltrações por acção de água acumulada ou por água projectada, principalmente em cozinhas, instalações sanitárias e lavandarias.

#### 5.4.5.2. Comparação entre sistemas

O problema da água numa habitação é semelhante para uma casa de madeira relativamente às suas homólogas em alvenaria de tijolo. No entanto, os novos compostos de madeira vieram trazer melhorias significativas nos sistemas de madeira. Os painéis homogéneos de madeira lamelada colada diminuem significativamente a probabilidade de entrada de água pela envolvente, no que respeita às paredes e cobertura.

As características das aberturas, janelas, portas, clarabóias, são independentes do sistema construtivo, dependendo apenas da qualidade e estanquidade apresentada pelos fornecedores. A nível de projecto, apenas se pode garantir que não existe acumulação de água perto destes dispositivos, sendo também importante uma boa execução das aberturas em si.

Nos dois sistemas, é necessário preparar de forma eficiente o projecto de águas pluviais, desde a cobertura até ao solo, e prevenir as humidades ascensionais ao nível das fundações.

Os sistemas de madeira, pelas consequências da humidade no material devem ser cuidadosamente tratados, com a aplicação de revestimentos repelentes e anti-aderentes de forma a impedir variações do teor de humidade na estrutura. Estas protecções devem no entanto ser permeáveis ao vapor, para não comprometer as boas capacidades higrométricas deste material.

#### 5.4.6. ESTANQUIDADE AO AR

A estanquidade ao ar num edifício é uma exigência atribuída essencialmente aos elementos da envolvente exterior. Estes elementos devem ser estanques ao ar, pese no entanto o facto da casa necessitar de ventilação.

Uma envolvente com problemas de estanquidade pode originar uma ventilação descontrolada, originando desconforto nos utilizadores do edifício, grandes perdas de calor, reduzindo assim a eficiência da ventilação mecânica, e havendo criação de correntes de ar e de perturbação acústica.

Assim, a envolvente deve ter uma permeabilidade ao ar diminuta para não facultar estes fenómenos. A permeabilidade ao ar pode ser avaliada pelos ensaios descritos na norma NP 2333 (1988) – “Método de ensaio de janelas – Ensaio de permeabilidade ao ar”. [75] ou pela norma europeia EN 1026 (2000) [76], sendo os componentes classificados segundo a norma EN 12207 [77].

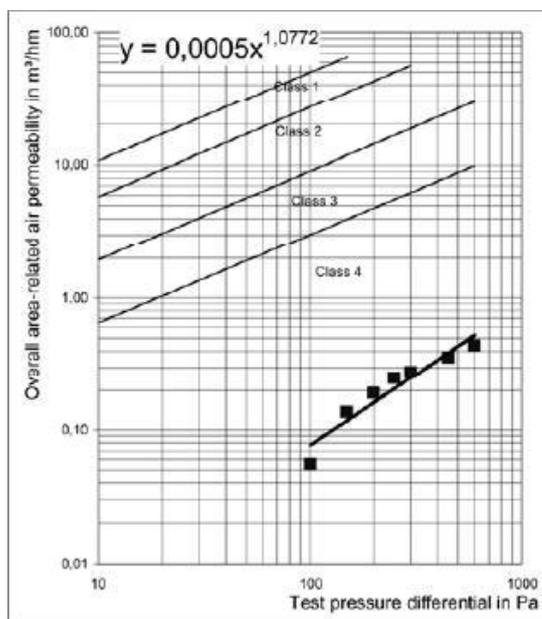


Fig.5.31 – Resultado de ensaio de permeabilidade ao ar (instituto IFT Rosenheim)

Esta classificação divide-se em 4 categorias, avaliando os resultados para diferentes pressões incidentes sobre os paramentos. No exemplo aplicado, a janela obteve a melhor classificação possível pois os resultados não sobrepõem os limites superiores de permeabilidade permitidos.

Os ensaios pensados para janelas e portas podem ser naturalmente adaptados a paredes, de forma a averiguar a exigência nesses elementos.

Como na exigência anterior, o cumprimento da mesma depende efectivamente mais das soluções adoptadas para as aberturas exteriores que do sistema construtivo em si. Assim, ambos os sistemas apresentam desempenhos aceitáveis neste ponto. Os sistemas prefabricados apresentam no entanto melhorias importantes em relação aos sistemas das casas de troncos, pelas mesmas razões já explicitadas atrás (maior homogeneidade e utilização de painéis duplos com camadas interiores).

Os sistemas de madeira, podem apresentar piores desempenhos para pressões mais elevadas pois não apresentam uma estrutura contínua, necessitando de ligações bem concretizadas para conseguir uma boa estanquidade. A utilização de juntas ou bandas de assentamento, como no sistema KLH, permite mitigar os problemas associados.

Como na permeabilidade à água, é importante a utilização de vedantes que permitam a permeabilidade ao vapor. A utilização de componentes isolantes com más propriedades higroscópicas pode impedir a expulsão da humidade interior, facultando a sua acumulação nas paredes interiores e originando condensações superficiais.

## 5.4.7. CONFORTO TÉRMICO E POUPANÇA DE ENERGIA

### 5.4.7.1. Conforto térmico

O conforto térmico, embora seja inerente ao ser humano, não é uma exigência facilmente quantificável. Efectivamente, o corpo humano não apresenta capacidade para armazenar calor, sendo que a regulação da temperatura do corpo é realizada pela temperatura da pele e pela temperatura do núcleo do corpo. Para o corpo ter a sensação de conforto térmico é assim necessário que o calor produzido pelo metabolismo seja igual ao calor perdido pelo corpo. [78]

Para avaliar esta exigência recorre-se a uma norma, ISO 7730, que traduz o estado psicológico que expressa satisfação com o ambiente térmico. A classificação de conforto térmico, foi obtida pela verificação das reacções de um elevado número de indivíduos relativamente a temperaturas interiores distintas, isto embora, o corpo humano não detecte temperaturas interiores mas sim sensações por perda de calor.

Através das impressões recolhidas, foi possível criar curvas de desconforto térmico que avaliam, para uma dada temperatura, a percentagem de pessoas insatisfeitas. Esta curva relaciona os parâmetros PMV (Predicted Mean Vote), que avaliam se as condições ambiente estão de acordo com as exigências de conforto (varia de 3, muito quente, a -3, muito frio), e PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), que mostra a percentagem de pessoas insatisfeitas (figura 5.32).

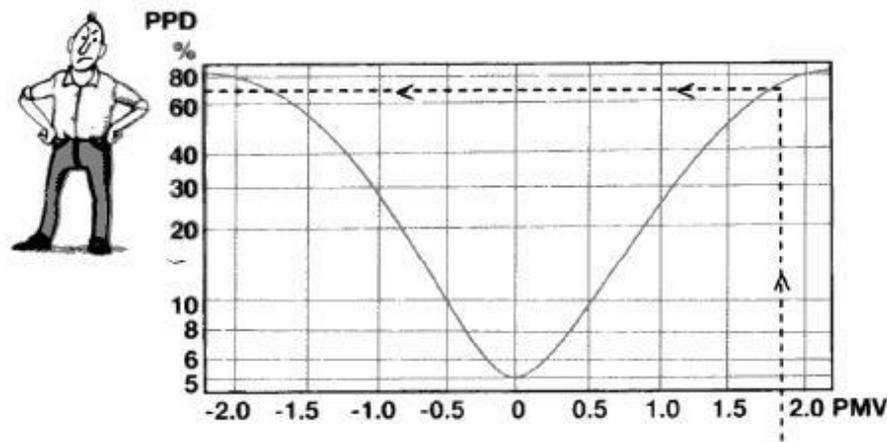


Fig.5.32 – Curvas de satisfação de conforto térmico [78]

Existem outras sensações, que traduzem desconforto térmico e que são consequência de correntes de ar, assimetria de temperaturas de radiação, assimetrias verticais de radiação e a pavimentos excessivamente quentes ou frios.

As correntes de ar já foram tratadas em exigências anteriores, e as assimetrias por radiação, são consequência dos sistemas de aquecimento ou arrefecimento (lareira, aquecedor, ar condicionado) que emitem calor de uma forma excessiva, lareiras, ou ar excessivamente quente, aquecedores.

O conforto térmico no contacto com os materiais é muito importante, sendo a sensação inicial a mais intensa (choque térmico). As trocas de calor entre materiais e pessoas são avaliadas a partir das características térmicas dos materiais: difusividade térmica e efusividade térmica.

MATERIAL	TEMP. MÉDIA (° C)		PROPRIEDADES TÉRMICAS	
	1 minuto	2 minutos	Difusividade m <sup>2</sup> /s	Efusividade W·s <sup>1/2</sup> /m <sup>2</sup> ·K
Alcatifa	32,6	32,7	-	-
Cortiça	31,6	32,6	0,16·10 <sup>-6</sup>	108
Madeira	31,5	32,5	0,19·10 <sup>-6</sup>	310
Vinílico	31,0	32,3	-	-
Cerâmico	30,5	30,6	0,6·10 <sup>-6</sup>	1 500
Granito	29,6	30,1	1,6·10 <sup>-6</sup>	2 800

Fig.5.33 – Propriedades térmicas de materiais de construção [63]

#### 5.4.7.2. Isolamento térmico e poupança de energia

O isolamento térmico num edifício tem como função evitar que dois locais com temperaturas distintas tenham grandes trocas de energia por radiação ou convecção, diminuindo o conforto da habitação e a eficiência dos sistemas de aquecimento.

Em Portugal, o primeiro documento a impor requisitos para satisfação das condições de conforto térmico sem gastos excessivos de energia foi o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [79], que data de 1990, mas que sofreu várias actualizações até aos nossos dias.

Para avaliar a forma como um elemento construtivo permite a troca de energia entre ambientes distintos, foram criados parâmetros indicadores. O mais relevante é o coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ) [W/m<sup>2</sup>·°C], que avalia a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária de um elemento por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa.

Para avaliar este parâmetro é preciso conhecer as resistências térmicas das camadas constituintes. O coeficiente de transmissão,  $U$ , é obtido pelo inverso do somatório das resistências das camadas. A resistência de uma camada é conhecida pela razão da sua espessura pela condutibilidade térmica do material que a constitui.

$$U = \frac{1}{R_{se} + \sum R_j + R_{si}} \quad (4.1.)$$

Além das resistências das camadas são consideradas ainda resistências consoante a posição dos elementos construtivos, denominadas por resistências térmicas superficiais ( $R_{se}$  e  $R_{si}$ ).

As envolventes são normalmente qualificadas tendo em conta o  $U$  que apresentam. A figura 5.34 e o quadro 5.6 apresentam os valores de  $U$  máximos que verificavam automaticamente o antigo RCCTE e a respectiva classificação das envolventes pelo coeficiente, podendo ser utilizadas para averiguar o cumprimento desta exigência de uma forma simplificada.

ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO	ZONAS CLIMÁTICAS INVERNO					
	I1		I2		I3	
	M	R	M	R	M	R
Vertical Exterior (Fachada)	1,8	1,4	1,6	1,2	1,45	0,95
Vertical Interior (Escada)	1,65	1,4	1,3	1,2	1,2	0,95

Legenda:

M - Valores máximos

R - Valores de referência (para aprovação automática)

Interior = Pavimento interior não aquecido

Fig.5.34 – Valores de U máximos e de referência [1]

Quadro 5.6 – Níveis de qualidade da envolvente opaca [78]

Nível de Qualidade	Limites de U
N1	$U \approx U_{ref}$
N2	$U \approx 0,75 \cdot U_{ref}$
N3	$U \approx 0,60 \cdot U_{ref}$
N4	$U \approx 0,50 \cdot U_{ref}$

Os sistemas porticados, ou reticulados, apresentam estruturas mistas. Este facto implica a interrupção dos isolamentos térmicos, o que conduz à existência de resistências térmicas diferentes num mesmo paramento. Nos locais onde o isolamento é interrompido, o coeficiente de transmissão térmica é superior, originando uma descida da temperatura superficial, nesses locais. A este fenómeno chama-se ponte térmica.

Os principais inconvenientes das pontes térmicas são os seguintes:

- Maiores perdas térmicas para o exterior;
- Aumento do risco de condensações superficiais;
- Possibilidade de desenvolvimento de bolores;
- Heterogeneidade de temperaturas.

Na construção tradicional, a existência de pontes térmicas é uma constante, nomeadamente nas ligações entre a estrutura de betão e os paramentos de alvenaria de tijolo. Como é frequente o mau isolamento destes pontos de ligação, existe uma grande perda de calor, e o caso agrava-se no Inverno, pois a temperatura a meio do paramento e nestas singularidades é distinta. Isto origina facilmente condensações, principalmente em compartimentos com muita humidade, e a proliferação de bolores, que acarretam problemas respiratórios.

Outra das principais causas de desconforto térmico é a flutuação de temperatura nos compartimentos. Este fenómeno é regulado pela inércia térmica dos edifícios. A inércia térmica é assim a capacidade que os elementos construtivos apresentam de conservar o calor no seu interior, restituindo-o ao ambiente interior de uma forma progressiva. Descreve a forma como o edifício reage às oscilações do fluxo de calor em torno da sua média diária.

É obtida pela razão entre a massa superficial útil e a área do pavimento. Os edifícios são classificados segundo a sua inércia de acordo com as classes apresentadas no quadro 5.7.

Quadro 5.7 – Classificação da inércia térmica [79]

Classe	Inércia térmica
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 < I_t < 400$
Forte	$I_t > 400$

Um edifício com inércia fraca apresenta variações de temperatura incompatíveis com os limites de conforto térmico, para o corpo humano, necessitando de climatização mecânica. Os edifícios com inércia forte apresentam variações de temperatura muito mais ligeiras, durante o dia e durante as estações, havendo um desfasamento dos picos de temperatura interior, relativamente ao exterior.

#### 5.4.7.3. Comparação entre sistemas

Relativamente ao conforto térmico na habitação, ambos os sistemas conseguem cumprir com as exigências de conforto, quando sujeitos a um bom planeamento relativamente a ventilação natural e aos sistemas de climatização mecânicos.

A principal diferença associa-se às propriedades térmicas dos materiais. A madeira apresenta valores de difusividade e efusividade bastantes bons, permitindo um conforto ao toque bastante agradável.

Em relação ao isolamento térmico e poupança de energia, os sistemas merecem algumas considerações. A madeira, devido às suas características constituintes, apresenta valores de condutibilidade térmica bastante reduzidos, sendo considerada um bom isolante (condutibilidade seis vezes inferior ao tijolo e quinze vezes inferior ao betão). [3]

Os sistemas prefabricados em estudo têm na sua generalidade, como já foi referido, origem em países com climas bastante mais rígidos que o clima nacional. Este facto, explica a utilização de painéis de isolamento no interior das paredes exteriores com grandes espessuras, o que origina valores do coeficiente de transmissão térmica (U) muito reduzidos. O caso mais evidente é da Lapponia House cujo valor de U mais elevado é de  $0,34 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

O coeficiente U da solução das paredes exteriores em alvenaria apresentadas, com parede dupla de 15+11 e espaço de ar com 8 cm sendo 4 cm em poliestireno extrudido, é já realmente bom, para o nosso clima. O valor obtido para essa solução tradicional é de  $0,47 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

Estes parâmetros mostram o excepcional comportamento térmico das novas soluções prefabricadas sendo até aconselhável a escolha de uma solução que não seja rígida, adaptando o isolamento necessário ao clima existente, para redução de custos.

Em qualquer dos casos, o comportamento destes sistemas permite a obtenção do nível mais elevado de qualidade, N4.

A problemática das pontes térmicas, nos sistemas prefabricados depende bastante da tipologia de construção. Em sistemas de painéis de grandes dimensões, não existem pontes térmicas, sendo apenas necessário acautelar as zonas de ligações, pois o metal apresenta condutibilidade diferente da madeira. Nos sistemas semelhantes aos porticados, pode existir a utilização de materiais ligeiramente distintos, não sendo no entanto muito provável a manifestação destes fenómenos.

Relativamente aos sistemas tradicionais, os sistemas prefabricados em madeira apresentam assim um comportamento significativamente melhor, no que respeita às pontes térmicas.

O mesmo não se verifica no que respeita à inércia térmica dos edifícios. A inércia térmica das soluções em madeira, embora variável pois depende da densidade das madeiras utilizadas, é significativamente inferior à dos sistemas tradicionais. Embora exista um espectro de massas volúmicas maiores, as mais utilizadas podem-se situar num intervalo de 400 a 900 kg/m<sup>3</sup>.

Quadro 5.8 – Massa volúmica dos materiais [6]

Material	Massa volúmica P (kg/m <sup>3</sup> )
Madeira resinosa	650
Tijolo furado	1200
Betão armado	2500
Aço	7850
Alumínio	2700

Esta característica da madeira é relevante em dias de muito calor no Verão, sendo aconselhável a introdução de elementos que funcionem como palas ou barreiras ao sol principalmente nas direcções mais críticas. Além destes elementos é necessária a introdução de materiais que façam aumentar a massa específica e consequentemente a inércia térmica do sistema.

#### 5.4.8. PUREZA DO AR

A noção de pureza do ar está intimamente ligada à noção de qualidade do ar interior.

Os sistemas construtivos têm, nos últimos anos, evoluído no sentido de oferecer um conforto adequado às exigências crescentes que indubitavelmente se relacionam com as necessidades crescentes de poupar energia. Nesse sentido, a ventilação começou a diminuir progressivamente no sentido de mitigar as perdas de calor, desprezando a existência de poluentes resultantes dos materiais de construção e do metabolismo e actividade humana.

Em 1984, um relatório da Organização Mundial de Saúde (OMS) alertava para o facto de 30% dos edifícios apresentarem níveis excessivos de poluentes relacionados com a qualidade do ar interior, apelidando o problema de “Síndrome do Edifício Doente”. Esta designação aparece devido aos riscos de saúde que o problema acarreta, sendo que os indicadores mais comuns incluíam alergias, tosse, náuseas, fadiga. [78]

A qualidade do ar passou assim a ter uma grande relevância, tendo sido criados regulamentos impondo valores máximos da concentração dos poluentes, para mitigar os riscos para a saúde pública. Em Portugal a qualidade do ar interior dos edifícios é regulamentada pelo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE: DL 79/06, de 4 de Abril) [80], sendo as concentrações máximas mais relevantes as presentes no quadro 5.9.

Quadro 5.9 – Concentrações máximas dos poluentes [80]

Poluentes	Concentração máxima de referência
Partículas suspensas no ar (PM <sub>10</sub> )	0,15 mg/m <sup>3</sup>
Dióxido de carbono	1800 mg/m <sup>3</sup>
Monóxido de carbono	12,5 mg/m <sup>3</sup>
Ozono	0,2 mg/m <sup>3</sup>
Formaldeído	0,1 mg/m <sup>3</sup>
Compostos orgânicos voláteis totais	0,6 mg/m <sup>3</sup>
Microrganismos (bactérias e fungos)	500 UFC/m <sup>3</sup>
Legionella	100 UFC/m <sup>3</sup>
Radão	400 Bq/m <sup>3</sup>

Relativamente aos sistemas em estudo, os que merecem maiores considerações são os sistemas em madeira. A madeira apresenta a faculdade de conseguir naturalmente controlar a humidade interior (absorver, reter e restituir), permitindo um melhor conforto higrotérmico.

No entanto, para assegurar uma boa salubridade dos espaços interiores, o fundamental é a existência de uma ventilação eficaz (0,6 rph no mínimo).

#### 5.4.9. CONFORTO ACÚSTICO

A implantação de casas nas grandes cidades sempre foi questionada devido ao crescente ruído que prolifera diariamente nos grandes centros urbanos. O ruído é, na actualidade, um grande mal associado a um número crescente de doenças relacionadas com o stress e a fadiga.

Torna-se cada vez mais necessário acautelar este problema. Esta problemática deve estar assim limitada, dependendo da localização e do tipo de ocupação do edifício, no que respeita principalmente ao isolamento aos sons aéreos ( $I_a$ ) e ao isolamento acústico da envolvente ( $R_{45}$ ).

Em Portugal, o Regulamento Geral do Ruído (RGR) [81] é o documento que estabelece a forma como um edifício se deve comportar face a esta exigência e a grandeza que avalia o som, o decibel (dB).

Quadro 5.10 – isolamento acústico das paredes exteriores em edifícios para habitação

Tipo de local	Exigências	Isolamento acústico da envolvente $R_{45}$
Locais pouco ruidosos	Locais que satisfaçam os seguinte níveis sonoros: $L_{50} \leq 65$ dB (A) entre as 7 e as 22 horas; $L_{50} \leq 55$ dB (A) entre as 22 e as 7 horas.	$\geq 25$ dB
Locais ruidosos	Locais que satisfaçam os seguinte níveis sonoros: $65$ dB (A) $\leq L_{50} \leq 75$ dB (A) entre as 7 e as 22 horas; $55$ dB (A) $\leq L_{50} \leq 65$ dB (A) entre as 22 e as 7 horas.	$\geq 30$ dB
Locais muito ruidosos	Locais que satisfaçam os seguinte níveis sonoros: $75$ dB (A) $\leq L_{50}$ entre as 7 e as 22 horas; $65$ dB (A) $\leq L_{50}$ entre as 22 e as 7 horas.	$\geq 35$ dB

Relativamente ao isolamento aéreo ( $I_a$ ), como a nossa habitação é unifamiliar, apenas é necessário garantir um isolamento entre quartos ou salas de  $I_a \geq 50$  dB.

O isolamento acústico é obtido não pela criação de uma barreira, mas de obstáculos que dificultam a propagação do som, diminuindo a intensidade das vibrações. Para este efeito é importante a utilização de materiais com densidades distintas, procurando que estes não se toquem directamente, e utilizando espumas e borrachas de forma a anular a vibração.

A madeira apresenta, no geral, um desempenho pouco adequado em relação ao isolamento acústico pois apresenta frequências acústicas muito próximas da voz e uma baixa densidade, mas apresenta bons comportamentos no que respeita à absorção sonora.

Para avaliar o isolamento que um material deve cumprir faz-se a diferença entre o nível sonoro do ambiente exterior e o nível de som compatível para um dado ambiente. Os isolamentos que alguns materiais de construção conseguem garantir estão no quadro 5.11.

Quadro 5.11 – Isolamento acústico de materiais de construção [3]

Material	Espessura (cm)	Isolamento acústico (dB)
Alvenaria de tijolo maciço	30	53
Betão-laje em pavimento	20 - 30	68
Vidro de janela	0,18 – 0,38	24
Aglomerado de madeira	6,5	20
Chapas de fibra de madeira	1,2	18

Embora, seja possível obter boas soluções de isolamento de paredes, estas medidas serão infrutíferas se as aberturas não tiverem um bom comportamento acústico. Efectivamente, uma parede com

isolamento acústico de 35 dB pode perder mais de 10% do seu desempenho com a utilização de soluções de portas ou janelas com soluções mal concebidas. [81]

Observando os sistemas em estudo, verifica-se no quadro 4.10 que os sistemas tradicionais apresentam isolamentos acústicos bastante superiores aos ostentados pelos sistemas em madeira. Por esta razão, os sistemas mais recentes demonstram uma clara preocupação em utilizar de forma pronunciada, camadas de isolamento acústico nos seus paramentos (KLH). Relativamente a esta exigência, um sistema construtivo em madeira, só consegue ser competitivo relativamente ao sistema tradicional utilizando materiais isolantes.

Por outro lado, a madeira apresenta uma excelente absorção acústica (condicionamento acústico). Esta propriedade é sensível à aplicação de revestimentos nos paramentos em madeira. Uma aplicação de papel de parede ou pinturas melhoram esta propriedade, enquanto os vernizes e as lacas a deterioram.

Em ambos os sistemas é fundamental ter especial atenção na escolha das soluções para as aberturas, para não comprometer o isolamento proporcionado pelas paredes.

#### 5.4.10. HIGIENE

A higiene numa habitação está relacionada com a exigência que estabelece os requisitos mínimos da pureza do ar completando-a. Este ponto engloba então a facilidade de limpeza dos materiais, a facilidade com que ficam danificados devido a actividades regulares (cozinhar, fumar, etc.) e a facilidade com que os microrganismos e as poeiras se fixam.

A avaliação desta exigência é feita pelo controlo da composição química dos produtos de revestimento ou acabamento na fase de construção e utilização.

Os materiais devem então ser fáceis de limpar, não apresentando deterioração e não necessitando de limpezas pouco usuais e com recurso a produtos tóxicos, cáusticos e inflamáveis. Não devem apresentar superfícies ásperas, húmidas ou pegajosas que fomentem a fixação de poeiras e a proliferação de microrganismos.

Comparando os sistemas, verifica-se que ambos os sistemas verificam esta exigência com relativa facilidade. Os pressupostos anteriores devem ser verificados pelos acabamentos aplicados.

A madeira, por outro lado, possui propriedades electrostáticas que não permitem a acumulação de electricidade estática, responsável pela acumulação de pó. Esta propriedade ganha ainda mais importância quando a exigência em causa surge de preocupações relacionadas com salubridade, tendo em conta que as poeiras são um reconhecido alergénico.

#### 5.4.11. CONFORTO VISUAL

As exigências de conforto visual estão na sua generalidade ligadas ao estado de acabamento das soluções construtivas de uma habitação. Os paramentos devem ser planos e verticais ou horizontais, homogéneos, não apresentando defeitos visíveis inaceitáveis (reentrâncias, fissuras, empolamento, colagens deficientes).

#### 5.4.11.1. Planeza das superfícies e regularidade dos paramentos

Para avaliar a planeza dos paramentos, utiliza-se normalmente uma régua (planeza geral) ou aparelho electrónico com apalpador e deflectómetro (planeza geral ou localizada), sendo as flechas máximas admitidas indicadas no quadro 5.12.

Quadro 5.12 – Exigência de planeza [1]

Planeza	Flecha máxima (mm)
Geral	< 10
Geral com revestimento executado por técnica de pontos e mestras	< 5
Localizada	≤ 2

A verticalidade ou horizontalidade de um paramento é realizada com fio-de-prumo ou nível respectivamente. Neste aspecto, para paramentos entre andares, o desvio máximo permitido é de 5 mm quando executados com técnica de pontos e mestras.

A regularidade e perfeição dos paramentos são avaliadas com o teste de luz rasante. As irregularidades devem ser imperceptíveis, sendo que as fissuras não devem apresentar largura superior a 0,2 mm.

#### 5.4.11.2. Homogeneidade

A homogeneidade nos paramentos traduz-se pelo enodoamento pela poeira, pela luz e pelo brilho.

O enodoamento pela poeira é um fenómeno que acontece em paredes com temperaturas superficiais heterogéneas, pelo contacto com locais frios ou exteriores, pois existe uma preferência de fixação de poeiras nas partes mais frias (termoforese), deteriorando o aspecto das paredes.

Para evitar uma degradação diferencial nos diferentes pontos da parede, é necessário limitar a heterogeneidade da temperatura superficial, principalmente em locais onde é provável ocorrerem condensações localizadas. Esta é avaliada pelo factor de heterogeneidade de temperatura superficial ( $\rho_m$ ) que traduz a razão entre o coeficiente máximo e mínimo de transmissão térmica de uma parede. O coeficiente não pode ser superior a 2,0 ou 1,5, conforme a parede é constituída ou não por material homogéneo. [1]

A homogeneidade do brilho implica que num paramento não existam diferenças de tonalidade ou brilho. A diversidade de tons num paramento pode ocorrer por deficiência no revestimento ou suporte ou de uma má aplicação. Como na exigência anterior, a homogeneidade deve ocorrer na aplicação e na utilização precedente.

#### 5.4.11.3. Iluminação

O conforto visual é também condicionado pela iluminação natural que captamos com os nossos olhos, receptores sensíveis e complexos que necessitam de conforto para funcionarem de forma eficiente.

É portanto necessário um equilíbrio e doseamento da penetração directa da luz exterior, que pode ser benéfica para os utilizadores num dia de Inverno, mas que pode ser desagradável no Verão. A incidência da luz também não pode ser tal que comprometa o equilíbrio energético da casa.

De igual forma os materiais de revestimento, no interior e exterior, não podem reflectir intensamente a luz solar de forma a ofuscar os habitantes no interior da casa e nos edifícios nas vizinhanças.

#### 5.4.11.4. Comparação entre sistemas

Relativamente à regularidade dos paramentos e verticalidade das soluções, os sistemas prefabricados introduziram melhorias significativas nos processos de construção. Efectivamente, estes sistemas, são testados e ensaiados ainda em fábrica com metodologias mais eficientes que as locais, traduzindo uma das grandes vantagens da produção em série.

A homogeneidade e o conforto visual derivado da iluminação estão mais dependentes da arquitectura do edifício e das soluções adoptadas para o revestimento que dos sistemas propriamente ditos. Assim, para estas exigências ambos os sistemas conseguem facilmente responder aos requisitos mínimos quando inerentes a projectos bem estruturados.

#### 5.4.12. CONFORTO TÁCTIL

O conforto táctil é caracterizado pela interacção dos indivíduos com os paramentos. As principais condicionantes do conforto são a aspereza dos paramentos, a existência de arestas vivas, irregularidades nas superfícies e a existência de zonas pegajosas. Exceptuando casos pontuais em instalações sanitárias e cozinhas os paramentos não devem apresentar humidade. Estas características, são avaliadas por ensaio que determina o perfil geométrico de uma superfície.

Estas exigências apresentam também preocupações de salubridade em alguns casos e também de segurança na utilização, já explicitadas.

Observando os dois sistemas, as exigências prendem-se mais com o tipo de revestimentos aplicados e o estado de conservação dos mesmos. No entanto, a madeira, no seu estado mais puro e rústico (madeira maciça), devido às suas propriedades higrométricas e electrostáticas, mantém com maior facilidade as superfícies limpas e secas.

#### 5.4.13. FACILIDADE DE LIMPEZA E MANUTENÇÃO

Os revestimentos aplicados nas habitações devem ser de fácil limpeza, sendo esta manutenção feita com produtos correntes, sem necessidades especiais e dispendiosas. A limpeza deve ser de fácil execução (geometria do edifício favorável) e sem grandes incómodos para os habitantes.

Os sistemas prefabricados considerados, de forma geral apontam para uma manutenção realizada periodicamente de 3 em 3, ou de 4 em 4 anos. Esta é feita com recurso a jactos de água devendo posteriormente ser aplicada nova camada de acabamento com as propriedades já referidas ao longo desta dissertação.

No interior das habitações, a manutenção de ambas é de relativa facilidade, exceptuando as soluções de madeira que simulam casas de troncos em que as superfícies não são planas sendo mais difícil a sua limpeza. Por outro lado, a sujidade é bastante mais evidente nas paredes de alvenaria comparativamente às soluções de madeira.

#### 5.4.14. ADAPTAÇÃO À UTILIZAÇÃO NORMAL

As exigências relacionadas com a utilização normal estão maioritariamente afectas à envolvente interior e com a capacidade de tornar um espaço funcional.

##### 5.4.14.1. Aptidão para fixar cargas suspensas

A aptidão para fixar cargas respeita à capacidade dos paramentos de resistir à fixação de cargas verticais suspensas pesadas como lavatórios, estantes e candeeiros, ou leves como os quadros, que não apoiam directamente sobre o pavimento e a capacidade de restituição do aspecto inicial, através de processos de reparação após a remoção destes elementos.

Esta característica deve ser expressa pelos fabricantes, bem como o modo de fixação mais eficaz.

##### 5.4.14.2. Incorporação de instalações

Os edifícios, nomeadamente os seus paramentos, devem permitir a instalação dos vários sistemas que permitem saneamento, distribuição de água, electricidade e outros serviços de forma eficaz e sem prejudicar a utilização normal do imóvel.

É importante que os fabricantes dos materiais especifiquem de forma clara os processos de incorporação destes sistemas e a forma como podem afectar o comportamento global do edifício (mecânico, acústico, térmico, etc.).

##### 5.4.14.3. Resistência ao choque e abrasão

Os paramentos devem apresentar robustez e resistência necessária para suportar as acções dinâmicas e estáticas inerentes à ocupação e utilização dos edifícios (mobilidade dos utilizadores, dos aparelhos domésticos, operações de limpeza e acções ambientais exteriores).

Estas exigências são avaliadas por ensaio de choque de corpo duro de 0,5 kg ou corpo mole de 50 kg. Não havendo regulamentação a este nível pode-se considerar a classificação proposta pelo ETAG/IPS presente em [1].

Quadro 5.13 – Classificação associada ao ensaio de choque com corpo duro de 0,5 kg [1]

Categoria de uso	Energia do ensaio de choque	Condição de aprovação
I	1 × 2,5 Nm	Registar os diâmetros das mossas.
II	1 × 2,5 Nm	O provete não deve perder de forma significativa suas características funcionais
III	1 × 6 Nm	
IV	1 × 6 Nm	

##### 5.4.14.4. Comparação entre sistemas

Os sistemas prefabricados costumam ser disponibilizados pelas empresas em dois estilos, kit e chave-na-mão. Em relação ao sistema chave-na-mão é expectável que a fixação de cargas suspensas e a

incorporação esteja devidamente tratada, porque existe uma melhor adaptação entre fases de projecto, pelo que estas sobrecargas estarão devidamente consideradas nos cálculos estruturais e nas instalações.

Nos sistemas em kit, em alvenaria ou madeira, é aconselhável um bom entendimento entre cliente e empresa fornecedora no sentido de transpor as ideias para haver um correcto dimensionamento do projecto em relação a sobrecargas especiais ou especificidades que podem requerer atenção especial da equipa projectista.

Na restituição do aspecto inicial, o processo é bastante mais eficiente nas estruturas de alvenaria, utilizando reboco, do que nas estruturas de madeira, onde o carácter da furação é permanente.

Na acção ao choque, as propriedades elásticas da madeira permitem que esta aguente as cargas sem apresentar fissuras ou danos aparentes, o mesmo sucedendo nas acções de origem cíclica.

#### 5.4.15. DURABILIDADE

A durabilidade de um elemento está relacionada com o cumprimento das exigências anteriormente referidas, principalmente as que respeitam à utilização normal, e a capacidade que os materiais apresentam de manter as características iniciais durante um período de tempo aceitável, recorrendo apenas às operações de manutenção já referidas.

Os principais agentes agressores são os que apresentam acções cíclicas ou muito repetitivas:

- Acções de choque, batimentos de porta ou de rotinas dos utentes ou utilizadores;
- Acções de natureza higrotérmica;
- Acções por água de condensação, capilaridade, percolação, lavagens;
- Acções de agentes biológicos (bolors, fungos) e agentes erosivos ou corrosivos.

Para avaliar a vida útil de um material ou solução construtiva não é viável a realização de exames por tempo de vida útil, sendo assim a avaliação realizada por julgamento de perito baseado na experiência e extrapolando para a criação de analogias.

Comparando os dois materiais, verifica-se que a madeira, no seu estado mais puro apresenta uma durabilidade menor. No entanto, os novos compósitos de madeira com os tratamentos de melhoramento de propriedades e com os novos sistemas vigentes que melhoram significativamente a qualidade das soluções em madeira, conseguem garantir maiores durabilidades.

Efectivamente, é costume aceitar-se valores de durabilidade de 50 anos para a construção pesada tradicional e 20 a 30 anos para soluções prefabricadas leves. [1]

Observando o quadro 3.5, verifica-se que algumas empresas apresentam apenas a garantia obrigatória por lei, mas que muitas apresentam já garantias relevantes e condizentes com o expectável para uma construção em madeira, como o caso da IMOWOOD e a Monjolo com 30 anos e a Empatias com 100 anos. Nas construções em alvenaria é difícil encontrar garantias da mesma ordem de grandeza.

Assim, conclui-se que a durabilidade de uma habitação é muito relativa não sendo fácil concluir sobre um sistema em relação ao outro. O que é possível concluir é que o projecto deve ser o mais bem concebido possível e que os processos de manutenção devem ser cumpridos nos períodos indicados pelos construtores.

#### 5.4.16. FACILIDADE DE TRANSPORTE

A facilidade de transporte desde o local de produção ou armazenamento até à obra dos elementos construtivos é feito consoante o peso e dimensões dos elementos e das características dos materiais a ser transportados.

A avaliação desta exigência é realizada consoante o método ou equipamento, limitando os erros a 1%. [1]

Nos sistemas prefabricados, os que utilizam modulação de pequenas e grandes dimensões são fáceis de transportar, pois os painéis, geralmente rectangulares, são muito fáceis de acomodar e de transportar. Os módulos tridimensionais obrigam geralmente a reforço metálico para resistir às deslocções até ao local de implantação, resultando num transporte lento, podendo requerer carro piloto, mas que obriga a um número muito reduzido de deslocções até ao local de implantação. Como os módulos vão prontos e os trabalhos são diminutos, os possíveis atrasos na viagem não são relevantes pois não se traduzem em paragens da obra.

As habitações em alvenaria de tijolo, por outro lado obrigam a um grande número de viagens e a diferentes meios de transporte pois os materiais são muito distintos. Isto obriga a um planeamento muito bem detalhado e a uma grande coordenação entre especialidades para não haver paragens nos trabalhos, e de igual forma obriga a grandes locais de armazenamento nos estaleiros de obra.

#### 5.4.17. FACILIDADE DE MONTAGEM E DESMONTAGEM

Esta exigência apenas pode ser aplicada aos sistemas em madeira pois não é compatível com o tipo de construção adoptado nas construções de betão e alvenaria (existem já soluções de modulação em betão mas que não estão nesta análise técnica em comparação).

Esta exigência está relacionada com os rendimentos de colocação e montagem em obra. Permite avaliar quais os sistemas mais céleres e que traduzem um planeamento mais cuidado. Os valores do rendimento são normalmente fornecidos pelo fabricante, sendo a avaliação realizada em obra.

Os sistemas prefabricados apresentam melhorias significativas no que respeita a esta exigência, em grande parte devida à normalização de produtos e de soluções construtivas. Nos exemplos apresentados, convém referir a KLH como exemplo destes melhoramentos. A empresa garante que consegue montar uma moradia com 150 m<sup>2</sup> em 12 h. [22]

#### 5.4.18. SUSTENTABILIDADE

O termo sustentabilidade na construção, está associado à responsabilidade que os construtores devem assumir na procura de soluções que procurem melhorar o desempenho energético-ambiental do meio edificado e consequentemente o bem-estar da população.

Os materiais da construção consomem recursos e energia e, na sua colocação em obra, fomentam a poluição do ar e água e a produção de resíduos sólidos. Durante o seu período de vida são responsáveis ainda pela libertação de partículas e de substâncias nocivas.

Para mitigar estes problemas existem medidas que vão sendo progressivamente implementadas na construção.

A madeira é neste ponto fundamental, apresentando-se como o único material natural e renovável. Os derivados deste compósito, como foi referido no capítulo 3 desta dissertação, são obtidos, não só a

partir dos toros dos troncos das árvores, mas em alguns casos da reutilização de serrilha, desperdícios de construção e do processo de produção.

Paralelamente à madeira, existem outros materiais utilizados na construção que podem ser recicláveis. O alumínio pode ser recuperado quase na totalidade, os plásticos e vidros são exemplos de materiais que podem ser recuperáveis, ao contrário do betão tijolo e cerâmicos onde este processo é mais dificilmente exequível.

A madeira maciça em alguns casos torna-se um encargo demasiado grande, para o ambiente, devido à quantidade de material utilizado. Algumas soluções actuais defendem que conseguem erguer várias estruturas com a madeira maciça que seria utilizada em apenas uma.

Por outro lado, a madeira como material de construção requer quantidades de energia consideravelmente inferiores que outros materiais de construção muito comuns. Comparando a energia necessária para produzir uma tonelada de madeira e de outros materiais verifica-se:

- 4 vezes mais energia para uma tonelada de betão;
- 60 vezes mais energia para uma tonelada de aço;
- 250 vezes mais energia para uma tonelada de alumínio.

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 o total restante dos materiais. [3]

Além dos consumos de energia, a madeira apresenta outra característica muito apreciável em termos de sustentabilidade. A madeira ao contrário dos outros materiais, consegue absorver dióxido de carbono. Embora este processo seja mais intenso enquanto a madeira é jovem uma madeira envelhecida ainda possui estas propriedades. A título de exemplo, refira-se a The Open Academy, em Norwich, no reino Unido que consegue armazenar 2325 toneladas de CO<sub>2</sub>, o que corresponde a um balanço negativo de CO<sub>2</sub> durante pelo menos 20 anos. [4]

## 5.5. ANÁLISE ECONÓMICA

A análise económica aqui apresentada foi pensada de forma a englobar o maior tipo de soluções possíveis no que respeita às habitações com sistemas prefabricados em madeira e as habitações em betão e alvenaria de tijolo.

Os orçamentos para as casas em alvenaria de tijolo foram obtidos a partir do contacto directo com duas empresas construtoras do norte do país e um outro valor obtido pela base de cálculo do governo para o cálculo de rendas e para a determinação de indemnizações de sinistros ocorridos em imóveis.

Quanto às casas de madeira, foi feita uma abordagem distinta a algumas empresas do mercado nacional que utilizam sistemas prefabricados. Através de pesquisa nos sites de algumas empresas foi possível obter preços de algumas soluções que as empresas oferecem ou custos médios praticados. A maior parte faz referência a custos reduzidos devido ao elevado grau de prefabricação, mas não especificam minimamente os custos dos sistemas apresentados.

Foi também abordada uma empresa especializada em prefabricação de betão. Os módulos são tridimensionais com dimensões de 8 metros de comprimento por 4 de largura e podem apresentar pés direitos distintos, sendo transportados para obra já acabados (apenas necessitam de afinação ao nível das instalações).

Embora o autor deste trabalho esteja muito grato pela colaboração demonstrada por algumas empresas, por acordo mútuo e respeitando a confidencialidade dos intervenientes, os nomes não serão referidos neste trabalho com excepção da Jular que tem os preços disponíveis no seu sítio da internet [23].

### 5.5.1. ORÇAMENTOS

#### 5.5.1.1. Casa em alvenaria A

Esta empresa da zona norte, recebeu as mesmas plantas que estão apresentadas no trabalho no início do capítulo 4 e as especificações abordadas ao longo do ponto 2 desse capítulo. Os preços apresentados incluem o seguinte:

- Fundações;
- Cobertura plana feita em laje aligeirada, e tecto em pladur;
- Paredes exteriores 11+11 com isolamento de 3cm;
- Paredes interiores de 11cm;
- Execução de todos os sistemas de instalação;
- Janelas de vidro duplo com caixilharia em alumínio;
- Portão de garagem seccionado com motor eléctrico e comando à distancia;
- Pavimento revestido com soalho de Jatobá.

Não incluindo o seguinte:

- Taxa de IVA;
- Levantamentos topográficos.

O serviço prestado por esta empresa é do tipo chave-na-mão. O preço atribuído foi de 500 euros por metro quadrado de construção. O IVA não está incluído no preço sendo que posteriormente deve ser aplicada uma taxa de 21 %. Os custos finais associados ao construtor estão no quadro 5.14.

Quadro 5.14 – Custos finais do construtor A

Preço unitário (€/m <sup>2</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )	Preço Global (€)
500	256	128000

#### 5.5.1.2. Casa em alvenaria B

Esta empresa, da zona do Porto, recebeu os mesmos dados da empresa A para realização da proposta da empreitada em causa. Os dados mais relevantes apresentados na proposta foram os seguintes:

- Fundações em sapata isolada;
- Lajes de pavimento com 0.23 m e com isolamento em poliestireno extrudido, excepto na garagem;
- Cobertura plana conforme o corte apresentado no capítulo 4 com 5 cm de XPS;
- Parede exterior com 15+11 com isolamento em XPS com 4 cm na caixa-de-ar;
- Paredes interiores em tijolo de 11 cm, rebocadas;
- Revestimentos de gesso projectado em tectos e paredes, e reboco desempenado para receber cerâmico em instalações sanitárias e cozinha;
- Caixilharias de alumínio para vidros duplos;
- Execução de todos os sistemas de instalação;

- Instalações sanitárias e cozinha equipadas;
- Revestimento de pavimento em flutuante assente em manta acústica de 20 db de 1 cm.

Não incluindo os seguintes itens:

- IVA;
- Levantamento Topográfico;
- Transporte.

Os custos associados a este construtor são os seguintes.

Quadro 5.15 – Custos finais do construtor B

Preço unitário (€/m <sup>2</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )	Preço Global (€)
450	256	115200

### 5.5.1.3. Casa em alvenaria C

Para obter um terceiro termo de comparação, dos sistemas tradicionais, foi realizada uma estimativa a partir dos valores atribuídos pelo governo do custo de habitação para efeito de cálculo da renda condicionada para o ano de 2010.

Estes custos estão discriminados na Portaria n.º 1379-B/2009, de 30 de Outubro, como manda o governo, pela Ministra do Ambiente e do Ordenamento do Território, segundo os dispostos no n.º 1 do artigo 4.º do Decreto-Lei n.º 329 -A/2000, de 22 de Dezembro, em vigor por força do disposto no artigo 61.º da Lei n.º 6/2006, de 27 de Fevereiro. [82]

Os preços estão tabelados segundo as zonas do país como o disposto no quadro 5.16.

Quadro 5.16 – Definição de preços por zona [82]

Zona	Preço (€/m <sup>2</sup> )
I	741,48
II	648,15
III	587,22

As zonas do país estão definidas por concelhos, da seguinte forma:

- Zona I – Sedes de distrito e concelhos de Almada, Amadora, Barreiro, Cascais, Gondomar, Loures, Maia, Matosinhos, Moita, Montijo, Odivelas, Oeiras, Póvoa de Varzim, Seixal, Sintra, Valongo, Vila do Conde, Vila Franca de Xira e Vila Nova de Gaia;
- Zona II – Concelhos de Abrantes, Albufeira, Alenquer, Caldas da Rainha, Chaves, Covilhã, Elvas, Entroncamento, Espinho, Estremoz, Figueira da Foz, Guimarães, Ílhavo, Lagos, Loulé, Olhão, Palmela, Peniche, Peso da Régua, Portimão, Santiago do Cacém, São João da Madeira, Sesimbra, Silves, Sines, Tomar, Torres Novas, Torres Vedras, Vila Real de Santo António e Vizela;
- Zona III – Restantes concelhos do país.

Como não existe um preço unitário para todo o país nesta análise, foi adoptado um valor representativo pesando principalmente as zonas I e II. O valor ponderado adoptado foi de 680 €.

Quadro 5.17 – Custos finais do construtor C

Preço unitário (€/m <sup>2</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )	Preço Global (€)
680	256	174080

#### 5.5.1.4. Casa prefabricada D - Jular

A empresa Jular utiliza a modulação tridimensional na execução das suas construções, tendo os módulos 22 m<sup>2</sup> cada, e sendo acopláveis lateralmente e superiormente, respondendo às necessidade inerentes ao projecto. O preço médio fornecido para os módulos é de 17.500 euros, que inclui:

- Estrutura em kerto®;
- Paredes exteriores com caixa dupla e isolamento térmico;
- Fachada ventilada em Thermowood® ou MDO;
- Sistema de cobertura com caixa-de-ar, sistema de isolamento térmico e telas isolantes;
- Instalação eléctrica preparada para crescer;
- Canalização e misturadoras;
- Loiça sanitária suspensa;
- Caixilharia oscilo-batente de elevada qualidade com vidro duplo;
- Revestimentos interiores e exteriores;
- Ferragens;
- Projectos de arquitectura e restantes especialidades.

Não incluindo os seguintes itens:

- Taxas e licenças;
- IVA;
- Sondagens;
- Levantamento topográfico;
- Estacas/fundações.

Para determinar o preço por metro quadrado deste construtor basta dividir o preço de cada módulo pela área dos módulos. O preço obtido é de 795 euros por metro quadrado. A empresa afirma que normalmente o prazo de entrega e instalação é de 90 dias.

Quadro 5.18 – Custos finais do construtor D

Preço unitário (€/m <sup>2</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )	Preço Global (€)
795	256	203520

#### 5.5.1.5. Casa prefabricada E

A empresa aqui retratada utiliza a modulação de pequena e média dimensão nos seus projectos. Para cumprir os requisitos da habitação retratada neste trabalho no ponto 5.2, o projecto teria de ser revisto pela empresa de forma a adaptar aos módulos prefabricados. O preço inclui:

- Estrutura em lamelado de madeira colada;
- Cobertura em tela asfáltica;
- Paredes exteriores duplas, com revestimento exterior em reboco acrílico, isolamento térmico e face interior em placa dupla de gesso cartonado;
- Pavimento em soalho de madeira;
- Tectos em contraplacado de madeira;
- Paredes interiores em placa dupla de gesso cartonado com isolamento;
- Vidro duplo com caixilharia de madeira;
- Loiças sanitárias e torneiras;
- Instalações eléctricas e de águas e saneamento.

Para a realização do projecto a empresa diz ser necessário cerca de um mês e para a construção cerca de 6 semanas após a instalação da estrutura. O preço das soluções por metro quadrado foi obtido por extrapolação de preços de outros projectos fornecidos pela empresa.

Quadro 5.19 – Custos finais do construtor E

Preço unitário (€/m <sup>2</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )	Preço Global (€)
790	256	202240

#### 5.5.1.6. Casa prefabricada F

A empresa aqui retratada apresenta casas por catálogo, sendo que também faz projectos de raiz. A casa considerada não corresponde exactamente ao projecto apresentado. No entanto, apresenta mais um quarto que o projecto base em estudo. O preço inclui:

- Fundações em betão;
- Pavimento em soalho flutuante;
- Revestimentos interiores em pladur extra-forte;
- Paredes interiores em placa dupla de gesso cartonado com isolamento;
- Janelas fixas com ventiladores;
- Loiças sanitárias e torneiras;
- Instalações eléctricas e de águas e saneamento.

Não incluindo os seguintes itens:

- IVA;
- Levantamentos topográficos.

O preço para esta solução está discriminado no quadro 5.20.

Quadro 5.20 – Custos finais do construtor F

Preço unitário (€/m <sup>2</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )	Preço Global (€)
625	256	160000

### 5.5.1.7. Casa prefabricada em betão G

A última empresa em análise é uma empresa que utiliza a prefabricação de módulos tridimensionais de betão reforçado com fibras que são transportados para o local de implantação já prontos. O projecto adoptado é um modelo standard da empresa, com os mesmos 256 m<sup>2</sup> de área de construção. O único senão resulta do facto de a sua construção apresentar um só piso, podendo não ser compatível com o terreno disponibilizado pelo cliente. O preço inclui:

- Acabamentos interiores e exteriores;
- WC's equipados e cozinhas com lava-loiça e exaustor;
- Projectos de arquitectura e especialidades;
- Instalações eléctricas e de águas e saneamento.

Não incluindo os seguintes itens:

- IVA;
- Electrodomésticos;
- Transporte.

O preço desta solução é o descrito no quadro 5.21.

Quadro 5.21 – Custos finais do construtor G

Preço unitário (€/m <sup>2</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )	Preço Global (€)
570	256	146000

### 5.5.2. ANÁLISE DOS PREÇOS OBTIDOS

Avaliando os custos globais das soluções em que foi possível obter informações é possível de certa forma qualificar os dois sistemas no que respeita aos preços praticados (Quadro 5.22).

Quadro 5.22 – Quadro de preços

	Casa em alvenaria A	Casa em alvenaria B	Casa em Alvenaria C	Casa prefabricada D	Casa prefabricada E	Casa prefabricada F	Casa Prefabricada em betão G
Preço (€/m <sup>2</sup> )	500	450	680	795	790	625	570

Observando o quadro, verifica-se uma grande dicotomia de valores entre os sistemas em betão armado e alvenaria de tijolo e os sistemas prefabricados em madeira. Entre as casas de alvenaria, o preço obtido pelo valor de renda condicionada mostra-se claramente desajustado à actual realidade da indústria da construção. Consultando profissionais desta área ficou claro que esta obra ficaria sempre entre 400 e 500 euros por metro quadrado dependendo obviamente da qualidade de construção pretendida.

Relativamente às soluções prefabricadas é possível verificar que as duas primeiras soluções apresentam preços muito elevados, não competitivos com as soluções em alvenaria de tijolo e com outras soluções prefabricadas. Consultando profissionais e outras empresas, foi possível verificar que as casas prefabricadas em madeira apresentam normalmente preços entre os 600 e os 750 euros por

metro quadrado. Não foram apresentadas nesta dissertação por não se ter encontrado informações suficientes sobre os sistemas adoptados.

As diferenças encontradas entre os sistemas D e E podem em parte ser justificadas pelo tipo de cobertura adoptado. Efectivamente, estes apresentam coberturas planas, que são soluções bastante mais dispendiosas que as coberturas inclinadas.

A casa prefabricada de betão apresentou um preço interessante, pese o facto de apenas possuir um piso. As estruturas de betão no entanto, não apresentam grandes variações de preço por metro quadrado em altura, ao contrário do verificado com a madeira. Os profissionais abordados referiram que se a habitação tivesse apenas um piso as diferenças de preços apresentados não seriam tão significativas por essa mesma razão.

No entanto, existem mais factores que devem ser considerados no custo de uma obra. Os custos de manutenção e os custos energéticos.

As exigências de manutenção já foram discutidas no subcapítulo anterior em que se concluiu que a madeira necessita de uma manutenção mais regular que os sistemas tradicionais. Este aspecto não é obrigatoriamente negativo, pois é normalmente respeitado, ao contrário das soluções tradicionais em que as intervenções são já de reparação e não de manutenção, traduzindo-se num custo bastante superior.

Os gastos energéticos estão relacionados com as necessidades de aquecimento e arrefecimento e conseqüentemente com os coeficientes de transmissão térmica dos paramentos. Um investimento maior em isolamento na fase inicial traduz-se em ganhos relacionados com a climatização podendo o tempo de retorno ser determinado. A figura 5.35 apresenta um exemplo de uma solução sem isolamento e outra com isolamento e a forma como os custos evoluem ao longo dos anos.

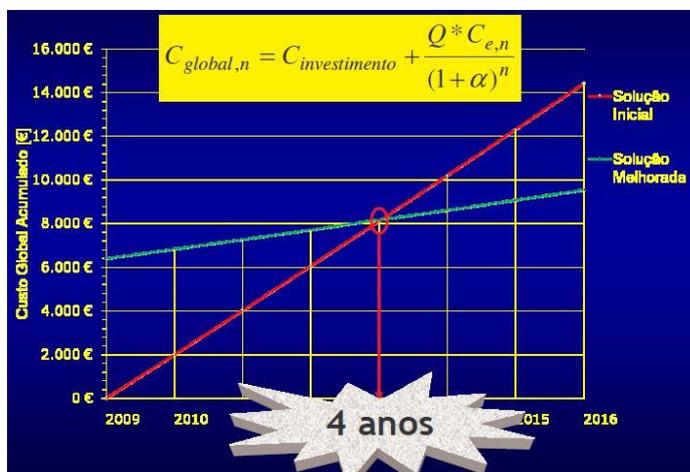


Fig.5.35 – Custos energéticos [78]

## 5.6. SÍNTESE DA ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA

Este ponto tem como objectivo apresentar de uma forma muito sintetizada a análise realizada, apresentando uma comparação entre os sistemas em análise. Nesse sentido, foi criado um quadro resumo (quadro 5.23) com as exigências tratadas e o comportamento dos sistemas. Para poder englobar os sistemas prefabricados de madeira (Pre), o sistema tradicional em betão e alvenaria de tijolo (Bet) e as casas de troncos (tr) comuns na construção criou-se um sistema de classificação. Assim, quando o comportamento **comparativo** de uma solução for fraco apresenta um +, quando for

satisfatório ++ e quando for o melhor entre as soluções +++. Quando os comportamentos forem semelhantes é colocado um sinal de igual (=).

Quadro 5.23 – Resumo do desempenho comparativo entre soluções

#	Exigência de desempenho	Sub-exigência	Pre	Bet	Tr
1	Estabilidade estrutural	Segurança estrutural	=	=	=
		Segurança a ocorrências excepcionais	=	+	=
2	Segurança contra riscos de incêndio	Reacção ao fogo	++	+++	+
		Resistência ao fogo	=	+	=
3	Segurança na utilização		=	=	=
4	Segurança contra intrusão		=	=	=
5	Estanquidade à água		++	+++	+
6	Estanquidade ao ar		=	+++	=
7	Conforto térmico e poupança de energia	Isolamento térmico	=	=	+
		Pontes térmicas	=	+	=
		Inércia térmica	=	+++	=
8	Pureza do ar		=	+	=
9	Conforto acústico	Isolamento acústico	=	=	+
		Condicionamento acústico	=	+	=
10	Higiene		=	=	=
11	Conforto visual		=	+	=
12	Conforto táctil		=	+	=
13	Facilidade de limpeza e manutenção		=	=	+
14	Adaptação à utilização normal	Aptidão para fixar cargas suspensas	++	+++	+
		Incorporação de instalações	=	=	+
		Resistência ao choque e abrasão	=	=	=
15	Durabilidade		=	+++	=
16	Facilidade de transporte		+++	+	++
17	Facilidade de montagem e desmontagem		+++	-	++
18	Sustentabilidade		+++	+	++
19	Custo global	Custo inicial	=	+++	=
		Manutenção	=	+	=
		Custos energéticos	+++	++	+

Observando o quadro anterior verificamos que as novas soluções em madeira, procuram manter todas as propriedades que dão notoriedade à madeira, sendo as mais relevantes as que compreendem o domínio da higroscopia, como a capacidade natural em regular o nível de humidade no ar, o conforto visual e táctil, e as que estão relacionadas com a sustentabilidade.

De igual forma, procuram mitigar as deficiências da madeira maciça e dos sistemas mais tradicionais, no que respeita principalmente à reacção ao fogo, estanquidade à água e isolamentos térmico e acústico, sendo que em algumas destas exigências conseguem obter desempenhos semelhantes aos dos sistemas em betão armado e alvenaria de tijolo.

A nível económico, estas soluções apresentam algumas diferenças. Assim, as casas de troncos são bastante caras, não sendo competitivas com as soluções tradicionais em betão armado e alvenaria. No entanto, nos custos associados à manutenção e utilização da habitação estas soluções apresentam-se em geral como muito competitivas.

As principais dificuldades encontradas na realização deste trabalho foram a diversidade e versatilidade de soluções encontradas no mercado, e a falta de transparência que algumas empresas apresentam em relação às metodologias de trabalho e ao tipo de construção, tornando muito difícil caracterizar a indústria madeireira. A versatilidade, embora interessante, implica a impossibilidade de uma pormenorização mais eficaz dos sistemas construtivos e das soluções mais aplicadas. Neste âmbito, tentou realizar-se uma caracterização mais abrangente, através dos órgãos funcionais, partindo mais cedo para uma análise comparativa entre sistemas.

Convém reafirmar que a análise técnico-económica foi realizada para sistemas certificados ou homologados por entidades competentes, não devendo ser alargada a empresas onde não existe informação fiável para caracterizar as construções.

# 6

## CONCLUSÃO

Este capítulo tem como função fazer uma síntese do que foi relatado anteriormente, resumindo e analisando as principais conclusões que se podem retirar do estudo efectuado.

O objecto desta dissertação, “Sistemas construtivos modernos em madeira”, surge dos desenvolvimentos no final do século XIX e início do século XX que determinaram o declínio da utilização da madeira como material de construção em detrimento do betão armado. O desenvolvimento industrial, aliado ao reconhecimento das propriedades do betão, conduziu ao aparecimento de maiores e mais arrojadas estruturas, remetendo a madeira para um papel secundário na construção, associado a habitações precárias ou a estruturas complementares ou auxiliares.

Actualmente, a madeira começa a recuperar a notoriedade de outros tempos, apoiada nas crescentes preocupações ambientais, nos avanços tecnológicos e nos estudos das características da madeira que permitiram consolidá-la como material fiável mas sobretudo ajudando a eliminar convicções erradas sobre este material.

A título de exemplo, dos estudos desenvolvidos podemos referir a estimativa apresentada pela organização CEI Bois [83], segundo a qual “a utilização de 1m<sup>3</sup> de madeira na construção permite a redução de 2 toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera (0,9 toneladas fixadas na madeira e 1,1 toneladas na poupança pela não utilização de outro material)”. [22]

Na execução da pesquisa relativa ao tema houve a preocupação de procurar sistemas inerentes ao mercado nacional e ao mercado internacional, de modo a ser possível criar um paralelismo e verificar o estado de desenvolvimento da indústria no nosso país.

Verificou-se que existe uma transformação lenta no que às construções em madeira respeita. Embora o mercado ofereça inúmeras soluções em madeira, as informações relativas aos sistemas utilizados são pouco claras, não havendo ainda a necessária transparência de processos nesta indústria. Houve portanto uma focalização em sistemas onde fosse possível recolher informação clara e credível, sendo neste aspecto de grande importância a existência de credenciação ou de homologações respeitantes aos mesmos.

Os sistemas referenciados e existentes com estas características no mercado nacional têm, de uma forma geral, origem em países onde a indústria da construção em madeira está deveras mais consolidada, ou surgem de parcerias entre empresas nacionais e estrangeiras. Apoiam-se em novos materiais desenvolvidos de forma a mitigar as deficiências da madeira e em métodos de construção, tendo como base a pré-fabricação e/ou a modulação, de forma a melhorar o processo construtivo.

Efectivamente, e comparativamente ao processo tradicional, este processo torna-se mais eficiente no que respeita à criação e controlo de resíduos em obra, ao tempo de execução da mesma e quanto ao nível de especialização da mão-de-obra necessária.

O tempo de construção, sendo uma das principais vantagens deste sistema relativamente aos sistemas tradicionais, tem em Portugal alguns entraves no sistema de licenciamento, uma vez que em alguns casos este é bastante mais demorado que numa casa de alvenaria, podendo os ganhos no tempo de construção não se reflectirem na realidade.

Estruturalmente, e principalmente devido aos avanços tecnológicos nesta indústria, os derivados provaram ser tão resistentes como o betão, conseguindo erguer estruturas substancialmente mais leves, apresentando resistências aos sismos superiores.

As preocupações em relação à segurança contra o fogo não se verificaram, uma vez que, apesar de a madeira ser um material combustível, durante o fogo vai formando uma camada carbonizada que impede ou retarda o avanço da combustão. Estas propriedades podem ainda ser melhoradas com a aplicação de revestimentos obtendo-se desempenhos semelhantes e até superiores aos das construções tradicionais.

Relativamente ao conforto térmico, a madeira apresenta de facto uma baixa condutividade, obtendo assim um razoável isolamento térmico. Este nem sempre é superior ao das construções tradicionais como muitas empresas publicitam pois não colocam qualquer tipo de isolamento adicional.

O conforto higrotérmico é maior nas casas de madeira devido à faculdade de estas naturalmente conseguirem regular a humidade do ar (absorver, reter e restituir). Esta característica proporciona uma melhor qualidade do ar interior e consequentemente maior salubridade.

Em termos acústicos, as soluções em madeira têm pior comportamento em termos de isolamento, pese embora o facto de terem boas características de absorção sonora. Este facto pode ser relevante quando se tenta implementar esta solução num ambiente urbano, naturalmente ruidoso. As soluções estudadas na sua maioria apresentam isolamentos acústicos nos paramentos da envolvente exterior.

Outra preocupação relacionada com as estruturas em madeira prende-se com a manutenção das mesmas. Estas estruturas estão conotadas como tendo um aspecto menos robusto e mais susceptíveis de ataques de animais e dos agentes externos, ficando a ideia que necessitam de uma manutenção muito rigorosa. Esta manutenção convém realmente ser regular e minuciosa não se traduzindo no entanto, em encargos demasiado excessivos comparativamente ao tempo de vida que este tipo de estruturas pode atingir. Nas construções em alvenaria esta manutenção, que deveria ser regular, é muitas vezes desprezada e quando se procede a intervenções essas já são de reparação, sendo os custos muito acrescidos, comparativamente aos custos de manutenção da madeira.

Entre as soluções apresentadas podem ser tiradas conclusões relativamente ao papel da modulação neste panorama. A modulação apresenta vantagens extraordinárias em termos do tempo de montagem e na mitigação e controlo de erros inerentes à construção. A mão-de-obra na montagem não necessita de ser tão especializada como nas outras soluções pois os trabalhos *in situ* são de relativa facilidade de execução. O principal contratempo de algumas soluções é a sua dinâmica limitada. A modulação permitiu no entanto que a indústria da construção se aproximasse das outras indústrias de produção em série.

Em termos económicos, que muitas vezes a par do aspecto final são praticamente as únicas preocupações dos clientes, os novos sistemas construtivos não conseguem ser competitivos relativamente aos sistemas tradicionais. Efectivamente, não apresentam melhorias em relação às outras construções em madeira. Quando consultados sítios na internet de discussão de ideias sobre a construção, a opinião é quase unânime de que os novos sistemas são muito interessantes, sendo as reacções muito positivas aos conceitos que eles empregam, mas que dificilmente são comportáveis em termos financeiros. [84]

Apresenta-se então em seguida um conjunto de medidas que podem ajudar a inverter a inércia patente na indústria de construção portuguesa em relação às habitações em madeira:

- implementar o estudo das construções em madeira de uma forma mais consolidada nas grandes escolas de engenharia e de arquitectura, como já se verificou no passado;
- criar ramos de especialização respeitantes à indústria madeireira;
- criar condições para o estudo das características das árvores resinosas mais comuns no nosso país (principalmente no que respeita ao pinho português);
- promover a reflorestação do país, sobretudo as espécies referidas no ponto anterior de forma a obter uma indústria sustentável e gerida de forma eficiente (o centro pinus tem um papel muito relevante neste ponto promovendo a produção e a optimização das qualidades do pinho português [85]);
- estudar o comportamento das madeiras nórdicas no clima mediterrânico, nomeadamente face aos agentes agressores (xilófagos);
- após um período de consolidação da indústria, criar pólos de investigação e desenvolvimento de novos derivados e materiais protectores contra os agentes agressores da madeira no nosso clima;
- desenvolvimento de estudos económicos aprofundados de comparação entre soluções construtivas.

De igual forma, seria interessante haver uma participação mais activa do governo nesta questão, uma vez que as acções antes enunciadas tanto podem ser de carácter público como privado. Assim, o governo, por iniciativa ou criando parcerias com empresas privadas, poderia criar um sistema de avaliação da performance das empresas a nível económico, social e de sustentabilidade, promovendo benefícios fiscais para empresas que cumpram determinados requisitos. Paralelamente, à semelhança do que se verifica com as energias renováveis (painéis solares), poderiam ser dados subsídios aos clientes que optassem por soluções mais ecológicas.

Citando o Professor Doutor Jorge Moreira da Costa, na unidade curricular Qualidade na Construção, “*Cientes bem informados e exigentes sabem o que pretendem e estão dispostos a pagar em conformidade...*” devendo ser este o caminho a percorrer por esta indústria.

Concluindo este trabalho, apresenta-se uma frase que pretende sintetizar o seu contributo enquanto estudo tecnológico e ilustrando também o valor da madeira para o homem, o que constitui ainda hoje a principal vantagem deste tipos de casa:

*“O potencial de aplicações da madeira, considerando as suas principais características de resistência, de beleza, e de facilidade de processamento, é interminável”.* (adaptado de [60])



## PRINCIPAL BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- [1] Amorim Faria, J. Divisórias leves prefabricadas – Conceção e avaliação da viabilidade de um sistema realizado com base em madeira e derivados. Dissertação de Doutoramento, FEUP, 1996.
- [2] Sánchez, J., Martitegui, F., Martitegui, C., Alvarez, M., Sánchez, F., Nevado, M. Casas de madera, Asociación de investigación técnica de las industrias de la madera y corcho. AITIM, 1995.
- [3] Mendez Vaz, S. Avaliação técnica e económica de casas pré-fabricadas em madeira maciça. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2008.
- [4] Dias, A., Negrão, J., Luís, J. ENEM 09. 1º Encontro nacional de engenharias de madeira, 29 de Outubro de 2009, Coimbra.
- [5] Guerra Martins, J., Vieira, A. Materiais de construção – Derivados de madeira. 2004. <http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Materiais/Derivados%20de%20Madeira.pdf>. 02/05/2010.
- [6] Dulce Franco Henriques, M. Sistemas estruturais em madeira lamelada colada. Jornadas de engenharia electrónica e telecomunicações e de computadores, 18 de Novembro de 2005, ISEL, Lisboa.
- [7] Cruz Lina Nunes, H. A madeira como material de construção. <http://mestrado-reabilitacao.fau.pt/disciplinas/jbastos/HCruzMadeiramaterial1.pdf>. 30/05/2010.
- [8] <http://www.casema.pt/construcoes/um-pouco-de-historia>. 20/03/2010
- [9] Amorim Faria, J. Construir com madeira. 7as Jornadas de construções civis, 16 de Dezembro de 1999, FEUP, Porto.
- Sousa Coutinho, J. Materiais de construção I – Madeiras. Feup, Porto, 1999.
- Marinho Marques, L. O papel da madeira na sustentabilidade da construção. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2008.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [10] Allan Mackie, B. The owner-built log house. Firefly Books, 2001.
- [11] <http://blog.bcarc.com/tag/austin-modernist>. 07/05/2010.
- [12] [http://www.thefurtrapper.com/fremont\\_indians.htm](http://www.thefurtrapper.com/fremont_indians.htm). 07/05/2010.
- [13] [http://polishpoland.com/archaeology\\_poland.htm](http://polishpoland.com/archaeology_poland.htm). 25/05/2010.
- [14] [http://www.staypoland.com/about\\_biskupin.htm](http://www.staypoland.com/about_biskupin.htm). 25/05/2010.
- [15] <http://www.flickr.com/photos/ecky/3685670582>. 26/05/2010.
- [16] [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Coggeshall-Paycockes\\_House.JPG](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Coggeshall-Paycockes_House.JPG). 26/05/2010.
- [17] Appleton, J. Construções em betão – Nota histórica sobre a sua evolução. <https://woc.uc.pt/darq/getFile.do?tipo=2&id=299>. 02/05/2010.
- [18] <http://www.solostocks.com/venta-productos/otros-sectores/casa-de-troncos-de-27-m2-1545860>. 29/05/2010.
- [19] [http://clientes.netvisao.pt/alme0020/historia\\_madeiras.htm](http://clientes.netvisao.pt/alme0020/historia_madeiras.htm). 28/04/2010.
- [20] <http://picsdigger.com/keyword/balloon%20frame>. 28/05/2010.

- [21] <http://www.johnbridge.com/images/mike2/For%20Liberry%20Stuff/Panel%20Handook%20&%20Grade%20Glossary.pdf>. 15/05/2010.
- [22] <http://www.tisem.pt>, site da empresa portuguesa TISEM representante em Portugal de KLH, estruturas em painéis maciços de madeira lamelada colada.
- [23] <http://www.jular.pt>, site da empresa Jular, produtora do sistema treehouse.
- [24] Amorim Faria, J. Apontamentos das aulas teóricas de tecnologias de sistemas construtivos. Feup, Porto, 2009-2010.
- [25] NP 180 – Anomalias e defeitos da madeira. IPQ, 1962.
- [26] NP EN 1995-1-1 – Eurocódigo 5: Projecto de estruturas de madeira. Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios. IPQ, 1998.
- [27] NP 4305 – Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas – Classificação visual. IPQ, 1995.
- [28] NP EN 338 – Madeiras para estruturas. Classes de resistência. IPQ, 2001.
- [29] LNEC – Pinho bravo para estruturas. Madeiras para construção – Ficha M2 (class. Mecânica). 1997
- [30] <http://www.globaldis.pt/paineis.htm>. 02/05/2010.
- [31] EN 636 – “*Plywood. Specifications*”. CEN, 2003.
- [32] <http://www.jjmiranda.pt/produtos>. 02/05/2010.
- [33] EN 622 – “*Fibreboards. Specifications. General requirements*”. CEN, 2003.
- [34] EN 312 – “*Particleboards. Specifications*”. CEN, 2003.
- [35] <http://www.sonae-industria-tafisa.com>, site da Sonae Indústria, a empresa do Grupo Sonae responsável pela produção de derivados de madeira.
- [36] [http://en.wikipedia.org/wiki/Laminated\\_veneer\\_lumber](http://en.wikipedia.org/wiki/Laminated_veneer_lumber). 02/05/2010.
- [37] EN 14279 – “*Definitions, classification and specifications*”. CEN, 2004.
- [38] [http://www.fvdearaujo.com.br/ing/produtos/laminados\\_laminateVeneerLumber.php](http://www.fvdearaujo.com.br/ing/produtos/laminados_laminateVeneerLumber.php) 05/06/2010.
- [39] EN 386 – “*Glued laminated timber. Performance requirements and minimum production requirements*”. CEN, 2001.
- [40] NP EN 1194 – Estruturas de madeira. Madeira lamelada colada. Classes de resistência e determinação dos valores característicos. IPQ, 2002.
- [41] <http://www.imowood.pt>, site da empresa Imowood, especializada no fabrico e montagem de casas em madeira maciça e madeira lamelada colada.
- [42] <http://madeiraestrutural.wordpress.com/2009/06/15>. 05/06/2010.
- [43] <http://www.sonaeierra.com>, site da empresa Sonae Sierra, empresa do grupo Sonae especializada na projecção e execução de centros comerciais.
- [44] <http://www.bfafh.de/inst4/43/pdf/6desqnde.pdf>. 09/05/2010.
- [45] <http://www.treehouse.pt>, site do sistema construtivo prefabricado da empresa Jular, modulação tridimensional.
- [46] [http://www.jular.pt/pdf//Finnforest\\_Kerto.pdf](http://www.jular.pt/pdf//Finnforest_Kerto.pdf). 10/04/2010.

- [47] [http://www.jular.pt/images/PDFs\\_treehouse/100330\\_Revista\\_Casas\\_Madeira\\_Fev-2010.pdf](http://www.jular.pt/images/PDFs_treehouse/100330_Revista_Casas_Madeira_Fev-2010.pdf). 08/07/2010.
- [48] <http://www.finnforest.com>. 08/07/2010.
- [49] <http://www.lapponia-house.com>, site da empresa Spring Construções, representante das casas lapponia House em Portugal, projectos de raiz ou catálogos.
- [50] <http://www.lapponia-house.com/ce-eta.pdf>. 08/04/2010.
- [51] <http://weyerhaeuser.com>, site da empresa Weyerhaeuser, empresa norte-americana com mais de 100 anos, responsável pelo sistema Ilevel.
- [52] <http://www.ico.pt/pt>, site da empresa ICOMATRO, representante do sistema Ilevel Trusjoist em Portugal.
- [53] [http://www.construlink.com/LogosCatalogos/ico\\_ICOIJOST.pdf](http://www.construlink.com/LogosCatalogos/ico_ICOIJOST.pdf). 09/04/2010.
- [54] <http://www.modular-system.com>, site do Modular System, criado por arquitectos da Arquiporto.
- [55] NP EN 1995-1-2 – Eurocódigo 5: Projecto de Estruturas de Madeira - Parte 1-2: Regras gerais - Verificação da resistência ao fogo. IPQ, 2000.
- [56] NP EN 1991-2-2 – Eurocódigo 1: Bases de projecto e acções em estruturas. Parte 2-2: Acções em estruturas - Acções em estruturas expostas ao fogo. IPQ, 2000.
- [57] <http://www.mmadeiras.pt>, site da empresa Mesquita Madeiras, produtora de um sistema de construção industrializado leve homologado pelo LNEC.
- [58] <http://www.toscca.com>, site da empresa Toscca, especializada na produção e desenvolvimento de produtos em madeira.
- [59] <http://arvesund.com/en>, site da Arvesund, empresa sueca especializada em construções com madeira reutilizada.
- [60] <http://www.casema.pt>, site da empresa Casema, especializada em construções em madeira exótica.
- [61] <http://www.realestates.com.ar/diretorio-portugal-casas-pre-fabricadas.php>. 10/07/2010.
- [62] <http://www.swiftfoundations.co.uk>. 14/07/2010.
- [63] Freitas, V. Apontamentos das aulas teóricas de patologia e reabilitação de edifícios. Feup, Porto, 2009-2010.
- [64] RGEU – Regulamento Geral das Edificações Urbanas, Decreto-Lei n.º 38:382, de 7 de Agosto de 1951 e alterações seguintes.
- [65] <http://casademadeira.blogspot.com>. 15/07/2010.
- [66] Amorim Faria, J. Madeira na construção: O Futuro promete. Dia da Engenharia Civil – 6ª Semana das Engenharias, 16 de Abril de 2002, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão do Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.
- [67] Regulamento de Segurança Contra Incêndio, Decreto-Lei n.º. 64/90, de 21 de Fevereiro de 1990.
- [68] Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios, Decreto-Lei n.º. 220/2008, de 12 de Novembro de 2008.

- [69] Lopes Porto, J. Apontamentos das aulas teóricas de Segurança contra incêndio em edifícios. Feup, Porto, 2009-2010.
- [70] [www.serc-europe.com](http://www.serc-europe.com). 15/07/2010.
- [71] E364 – Segurança contra incêndio. Resistência ao fogo de elementos de construção. Métodos de ensaio e critérios de classificação. LNEC, 1990.
- [72] [www.estg.ipleiria.pt/files/322613\\_RESISTENCIA%20AO%20FOG\\_438e1d6b9c9ab.pdf](http://www.estg.ipleiria.pt/files/322613_RESISTENCIA%20AO%20FOG_438e1d6b9c9ab.pdf). 18/07/2010.
- [73] EN 1027 – “Windows and doors. Watertightness. Test method”. CEN, 2000.
- [74] EN 12208 – “Windows and doors. Watertightness. Classification”. CEN, 2000.
- [75] NP 2333 – Método de ensaio de janelas – Ensaio de permeabilidade ao ar. IPQ, 1988.
- [76] EN 1026 – “Windows and doors. Air permeability. Test method”. CEN, 2000.
- [77] EN 12207 – “Windows and doors. Air permeability. *Classification*”. CEN, 2000.
- [78] Freitas, V. Apontamentos das aulas teóricas de térmica de edifícios. Feup, Porto, 2009-2010.
- [79] RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril.
- [80] RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios, Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril.
- [81] RGR – Regulamento Geral do Ruído, Decreto-Lei n.º 278/2007, de 1 de Agosto.
- [82] <http://dre.pt/pdf1sdip/2009/10/21101/0000300003.pdf>. 18/07/2010.
- [83] <http://www.cei-bois.org/>. 16/05/2010.
- [84] <http://www.casas-de-madeira.eu>, Fórum de discussão sobre construção civil.
- [85] <http://www.centropinus.org>. 11/07/2010.





# **ANEXO 1**

**Caracterização do material AGEPAN  
DWD, do sistema construtivo da  
Sonae, Catálogo**



# AGEPAN® DWD protect

## Highlights

- \* Optimized, easy-to-use tongue-and-groove edges
- \* As second water-shedding layer in roofs
- \* Safe for walking on when dry up to a mean load of 100 kg (without floating joints) if rafters are spaced 1,0 m or less apart
- \* Approved by the German building authorities (Approval Z-9.1-382)
- \* Highly favourable building biology
- \* Water-vapour-permeable and wind-sealing



## Technical Data | Delivery Programme

Properties	Test standard	
Nominal thicknesses (mm)		16 mm
Raw density (kg/m³)	DIN EN 323	540–590
Calculated conductivity coefficient $\lambda_R$	DIN 4108 T2	0,09 W/mK
Steam diffusion resistance factor $\mu$	DIN 52 615	≈ 11
Diffusion-equivalent air layer thickness $s_d$ (m)		0,18
Material class	DIN 4102 T 1	B2: normal flammability
Safe for walking on		When dry up to a mean load of 100 kg (without floating joints) if rafters are spaced 1 m or less apart
Recommended spacing of supports (mm)		500, 625, 833, 1000
Bonding		Formaldehyde-free with PUR resins
Moisture content	EN 322	9 ± 4 %
24-hour swell after soaking in water	EN 317	≤ 8,5 %
Thickness tolerance (mm)		± 0,8
Length/width tolerance (mm)		± 3
Squareness		2 mm on 1000 mm length
Linear deformation (length/width)		0,30 % with a change in humidity



The AGEPAN® DWD protect used as a structural board in the roof.



The AGEPAN® DWD protect used as a structural board in the wall.



**Permissible Stresses According to Approval Z-9.1-382**

**Use of AGEPAN® DWD protect within the scope of**

Wood-based product class 20

Wood-based product class 100

16 (mm)

16 (mm)

Curvature ( $\sigma_{Bz}$  parallel to the sheet)

2,50

1,25

Tensile force ( $\sigma_{Zx}$  parallel to the sheet)

1,70

0,85

Compression ( $\sigma_{Dx}$  parallel to the sheet)

2,10

1,05

Shear ( $\tau_{xy}$  at right angles to the sheet)

1,00

0,50

**Permissible Modulus of Elasticity and Shear**

**Use of AGEPAN® DWD protect within the scope of**

According to Approval Z-9.1-382

Wood-based product class 20

Wood-based product class 100

16 (mm)

16 (mm)

Curvature ( $\sigma_{Bz}$  parallel to the sheet)

1700

850

Tensile force ( $\sigma_{Zx}$  parallel to the sheet)

1700

850

Compression ( $\sigma_{Dx}$  parallel to the sheet)

1700

850

Shear ( $\tau_{xy}$  at right angles to the sheet)

800

400

**Available sizes**

Format (mm)

Thickness (mm)  
16

AGEPAN® DWD protect, tongue-and-groove on 4 sides

2500 x 1000

•

AGEPAN® DWD protect, tongue-and-groove on 4 sides

2500 x 625

•

AGEPAN® DWD protect, straight-edged

2500 x 1247

•



# **ANEXO 2**

**Caracterização do material Kerto®,  
utilizado na Treehouse, segundo o  
catálogo da Finnforest**



# Kerto at a glance

## Design values [N/mm<sup>2</sup>] and physical properties

PROPERTY	Symbol	Kerto-S <sup>1)</sup> 21-90 mm	Kerto-Q <sup>1)</sup> 27-69 mm	Kerto-T <sup>2)</sup>
<b>Bending strength</b>				
Edgewise	$f_{m,0,edge,k}$	44.0	32.0	$(300/h)^5 \cdot 27.0$
Size effect parameter	s	0.12	0.12	0.15
Flatwise, parallel to grain	$f_{m,0,flat,k}$	50.0	36.0	32.0
Flatwise, perpendicular to grain	$f_{m,90,flat,k}$	-	8.0	-
<b>Tensile strength</b>				
Parallel to grain	$f_{t,0,k}$	35.0	26.0	$(3000/L)^{5/2} \cdot 24.0$
Perpendicular to grain, edgewise	$f_{t,90,edge,k}$	0.8	6.0	-
<b>Compressive strength</b>				
Parallel to grain	$f_{c,0,k}$	35.0	26.0	26.0
Perpendicular to grain, edgewise	$f_{c,90,edge,k}$	6.0	9.0	4.0
Perpendicular to grain, flatwise	$f_{c,90,flat,k}$	1.8	2.2	1.0
<b>Shear strength</b>				
Edgewise	$f_{v,0,edge,k}$	4.1	4.5	2.4
Parallel to grain, flatwise	$f_{v,0,flat,k}$	2.3	1.3	1.3
Perpendicular to grain, flatwise	$f_{v,90,flat,k}$	-	0.6	-
<b>Modulus of elasticity</b>				
Parallel to grain	$E_{0,mean}$	13,800	10,500	10,000
Compression, perpendicular to grain edgewise	$E_{c,90,edge,mean}$	430	2,400	-
Compression, perpendicular to grain, flatwise	$E_{c,90,flat,mean}$	130	130	-
Bending, perpendicular to grain of surface veneer	$E_{m,90,mean}$	-	2,000	-
<b>Shear modulus</b>				
Edgewise	$G_{0,edge,mean}$	600	600	400
Flatwise, parallel to grain	$G_{0,flat,mean}$	600	120	400
<b>Density, kg/m<sup>3</sup></b>				
	$\rho_k$	480	480	410
<b>Moisture content (when leaving the mill)</b>				
		10 %	10 %	10 %
<b>Dimensional variation coefficient<sup>3)</sup></b>				
Thickness		0.0024	0.0024	0.0024
Width/height		0.0032	0.0003	0.0032
Length		0.0001	0.0001	0.0001
Average density (kg/m <sup>3</sup> )		510	510	440
Fire resistance, charring rate (mm/min.)		$\beta_n = 0.70$	$\beta_n = 0.70$	$\beta_n = 0.75$
Reaction to fire		D-s1, d0	D-s1, d0	D-s1, d0

<sup>1)</sup> VTT certificate 184/03

<sup>2)</sup> VTT certificate VTT-C-1781-21-07

<sup>3)</sup> Dimensional variation of cross-section due to moisture content (change of moisture content in % x dimensional variation coefficient x cross-section in mm)

## Tolerances for Kerto products (moisture content 10 %)

Thickness	+1/-2 mm
Height	
< 200 mm	+/- 1 mm
200...600 mm	+/- 2 mm
> 600 mm	+/- 0.5 %
Length	+/- 5 mm

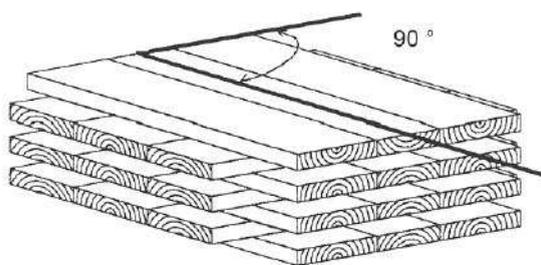


# **ANEXO 3**

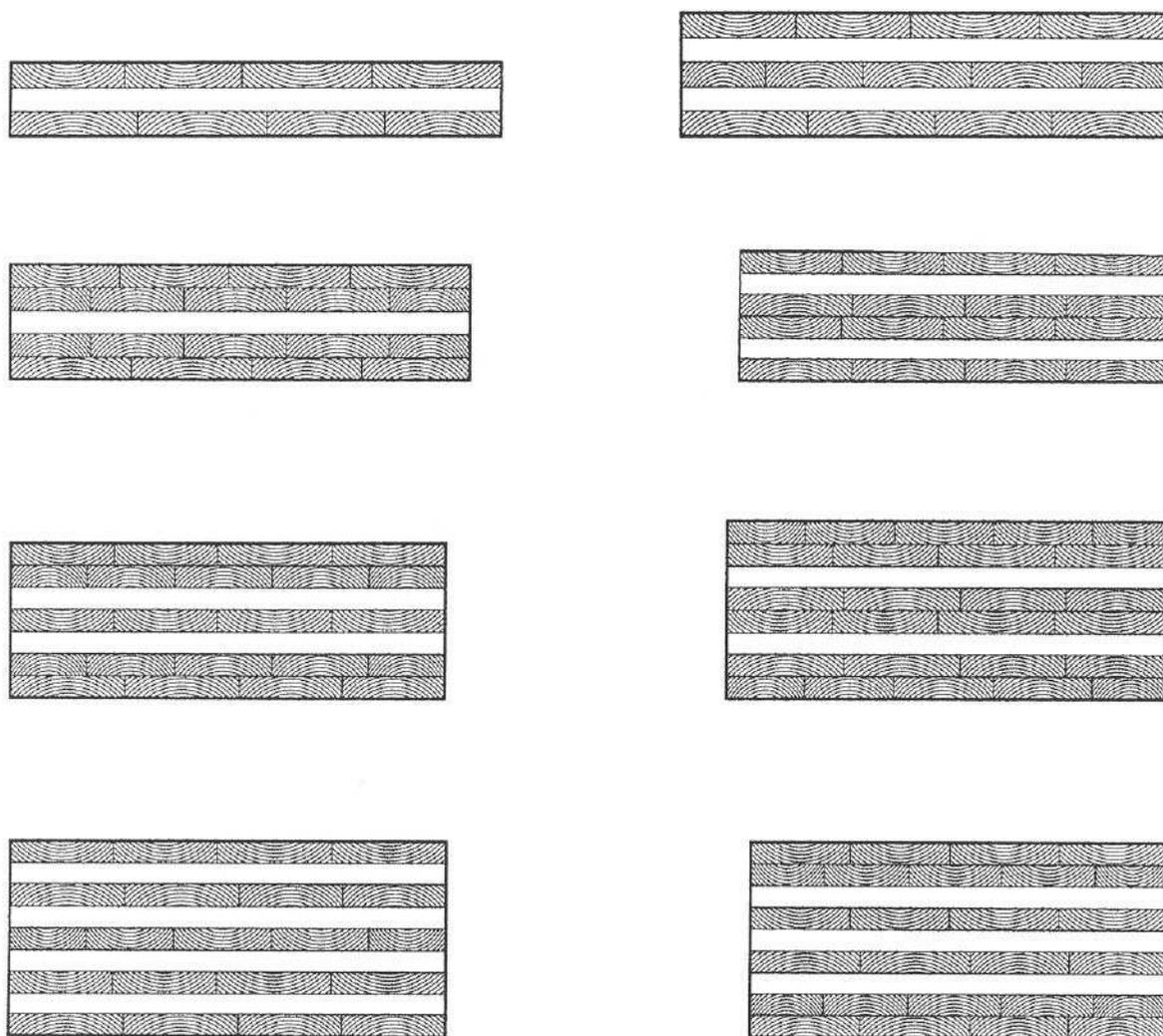
**Caracterização do derivado X-LAM  
do sistema de construção da TISEM  
pela ETA-06/0138**



**Figure 1: Principle structure of the solid wood slab**



**Figure 2: Typical examples of the structure of the solid wood slab**



**KLH solid wood slabs**

**Annex 1**

Structure of the solid wood slab

of European Technical Approval  
ETA-06/0138

**Table 1: Dimensions and specifications**

Characteristic		Dimension / Specification
<b>Solid wood slab element</b>		
Thickness	mm	57 to 250
Width	m	≤ 2,95
Length	m	≤ 16,50
Number of layers	---	3 to 9
Maximum width of joints between boards within one layer: regions with fasteners to be applied elsewhere	mm mm	3 6
<b>Board</b>		
Surface	---	planed
Thickness (planed dimension)	mm	10 to 40
Width	mm	80 to 240
Ratio width to thickness	---	≥ 4 : 1
Boards shall be graded with suitable visual and/or machine procedures to be able to assign them to the strength classes according to EN 338.	---	≤ 10 % C16 ≥ 90 % C24
Moisture of wood according to EN 13183-2	%	12 ± 2
Finger joints	---	EN 385

**KLH solid wood slabs****Annex 2**

Characteristic data of the solid wood slab

of European Technical Approval  
ETA-06/0138

Table 2: Product characteristics of the solid wood slab

ER	Requirement	Verification method	Class / Use category / Numeric value
1	<b>Mechanical resistance and stability</b>		
	<b>1. Mechanical actions perpendicular to the solid wood slab</b>		
	Modulus of elasticity		
	– parallel to the grain of the boards $E_{0, \text{mean}}$	$I_{eff}$ , Annex 4 CUAP 03.04/06, 4.1.1.1	12.000 MPa
	– perpendicular to the grain of the boards $E_{90, \text{mean}}$	EN 338	370 MPa
	Shear modulus		
	– parallel to the grain of the boards $G_{\text{mean}}$	EN 338	690 MPa
	– perpendicular to the grain of the boards, rolling shear modulus $G_{R, \text{mean}}$	CUAP 03.04/06, 4.1.1.1	50 MPa
	Bending strength		
	– parallel to the grain of the boards $f_{m, k}$	$W_{eff}$ , Annex 4 CUAP 03.04/06, 4.1.1.1	24 MPa
	Tensile strength		
	– perpendicular to the grain of the boards $f_{t, 90, k}$	EN 1194, reduced	0,12 MPa
	Compressive strength		
	– perpendicular to the grain of the boards $f_{c, 90, k}$	EN 1194	2,7 MPa
	Shear strength		
– parallel to the grain of the boards $f_{v, k}$	EN 1194	2,7 MPa	
– perpendicular to the grain of the boards (rolling shear strength) $f_{R, v, k}$	$A_{gross}$ , Annex 4 CUAP 03.04/06, 4.1.1.3	1,5 MPa	
<b>2. Mechanical actions in plane of the solid wood slab</b>			
Modulus of elasticity			
– parallel to the grain of the boards $E_{0, \text{mean}}$	$A_{net}$ , $I_{net}$ , Annex 4 CUAP 03.04/06, 4.1.2.1	12.000 MPa	
Shear modulus			
– parallel to the grain of the boards $G_{\text{mean}}$	$A_{net}$ , Annex 4 CUAP 03.04/06, 4.1.2.3	250 MPa	
Bending strength			
– parallel to the grain of the boards $f_{m, k}$	$W_{net}$ , Annex 4 CUAP 03.04/06, 4.1.2.1	23 MPa	

KLH solid wood slabs

Annex 3

Product characteristics of the solid wood slab

of European Technical Approval  
ETA-06/0138

ER	Requirement	Verification method	Class / Use category / Numeric value
1	<b>2. Mechanical actions in plane of the solid wood slab</b>		
	Tensile strength		
	– parallel to the grain of the boards $f_{t,0,k}$	EN 1194	16,5 MPa
	Compressive strength		
	– parallel to the grain of the boards $f_{c,0,k}$	EN 1194	24 MPa
	– concentrated, parallel to the grain of the boards $f_{c,0,k}$	CUAP 03.04/06, 4.1.2.2	30 MPa
	Shear strength		
	– parallel to the grain of the boards $f_{v,k}$	$A_{net}$ , Annex 4 CUAP 03.04/06, 4.1.2.3	5,2 MPa
	<b>3. Other mechanical actions</b>		
	Creep and duration of load	EN 1995-1-1	
Dimensional stability			
Moisture content during service shall not change to such an extent that adverse deformation will occur.			
Fasteners, see Annex 5	EN 1995-1-1		

**KLH solid wood slabs**

**Annex 3**

Product characteristics of the solid wood slab

of European Technical Approval  
ETA-06/0138

ER	Requirement	Verification method	Class / Use category / Numeric value
2	<b>Reaction to fire</b>		
	Solid wood panels excluding floorings	Commission Decision 2003/43/EC	Euroclass D-s2, d0
	Floorings of solid wood panels		Euroclass D <sub>FL</sub> -s1
	<b>Resistance to fire</b>		
Charring rate, see Annex 4 – Charring of cover layer only. – The cross section of the remaining wood shall be reduced by 10 %. – At least 3 mm of the cover layer shall remain uncharred. – Charring of more layers than the cover layer.	EN 1995-1-2	0,67 mm/min  0,76 mm/min	
3	<b>Hygiene, health and environment</b>		
	Vapour permeability, $\mu$ including joints within the layers	EN 12524	25 to 50
5	<b>Protection against noise</b>		
	Airborne sound insulation – Plain wall, thickness of 94 mm – Plain wall, thickness of 146 mm	EN 12354-1	approx. 33 dB approx. 37 dB
	Impact sound insulation	No performance determined	
	Sound absorption	No performance determined	
	<b>6 Energy economy and heat retention</b>		
	Thermal conductivity, $\lambda$	EN 12524	0,13 W/(m·K)
	Air tightness	No performance determined	
	Thermal inertia, specific heat, $c_p$	EN 12524	1.600 J/(kg·K)
–	<b>Durability</b>		
	Durability of timber Service classes	EN 1995-1-1	1 and 2

**KLH solid wood slabs**

**Annex 3**

Product characteristics of the solid wood slab

of European Technical Approval  
ETA-06/0138



# **ANEXO 4**

**Caracterização do sistema Lapponia  
House (Aberturas exteriores,  
materiais e kit) pela ETA-09/0344**



## 2.1 Windows and external doors

Windows and external doors are tested according to the provisions stated in EN 14351, the properties are given in the following table according to that standard. The works may have roof windows; the properties of these shall comply with the local provisions.

Property							
	WINDOW/DOOR TYPE	MSEA-131	MSEA-175	EKA3-131	EKA3-175	Other window	External door
<b>ER1 Mechanical resistance and stability</b>							
1	Resistance to wind	C3	C3	C3	C3	NPD	NPD
2	Frame deflection	C	C	C	C	NPD	NPD
<b>ER2 Safety in case of fire</b>							
4a	Reaction to fire	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD
4b	External fire performance	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD
<b>ER3 Hygiene, health and environment</b>							
5	Watertightness, non-shielded	9A	9A	9A	9A	NPD	NPD
6	Watertightness, shielded	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD
7	ER 3 Dangerous substances	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD
<b>ER4 Safety in use</b>							
8a	Impact resistance, drop height mm	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD
8b	Glass thickness 6 mm <sup>15</sup>	4	6	4	6	4	6
9	Load-bearing capacity of safety devices	not provided					
<b>ER5 Protection against noise</b>							
10	Weighted sound reduction index $R_w$ (C;C <sub>tr</sub> ) dB	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD
<b>ER6 Energy economy and heat retention</b>							
11	Thermal transmittance $U_w$ W/(m <sup>2</sup> K),	1,20	1,18	1,23	1,23	NPD	NPD
12	Solar factor g	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD
13	Light transmittance $\tau_v$	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD
14	Air permeability	4	4	4	4	NPD	NPD

Properties marked with - are not relevant for others than roof windows

## 2.2 Materials

The following materials may be part of the kit or they are necessary for the proper function of the kit. Only properties to be indicated in the CE-marking have been mentioned.

<sup>15</sup> Finnish regulations contain safety provisions for windows. 6 mm glass or safety glass shall be used when there is risk for falling through the window.

Material function	Material type	Material specification		
		C18	C24	C30
Timber structures	Structural timber, EN 14081-1	D-s1,d0		
		C24	C30	C35
Roof trusses and frames	Structural timber and nail plates, EN 14250, nail plates e.g. MiTek	D-s1,d0		NPD
		C24	C30	C35
Beams and columns	Glulam, EN 14080	GL 24c	GL 28c	GL32c
		D-s2,d0		NPD
	LVL, EN 14374 e.g. Kerto-S	Strength values specified in the design documents		
		D-s2,d0		NPD
External cladding	Timber panel	D-s2,d0		
Windows and doors	Windows and doors, EN 14351	As defined in section 2.1		
Wind barrier	Wood-based panel, SB.H, EN 13986, e.g. Leijona	E		
	Gypsum panel EN 520, e.g. Knauf	B-s1,d0	NPD	
Air control layer	Building paper, e.g. Rakonor Oy	NPD		
Thermal insulation	Mineral wool, EN 13162 (Isover KL 37)	A1	NPD	
		$\lambda_d < 0,037 \text{ W/(m K)}$		
	Isover KL 35	A1	NPD	
		$\lambda_d < 0,035 \text{ W/(m K)}$		
	Wood fibre insulation, EN 13171 e.g. Vital	NPD		
$\lambda_d < 0,037 \text{ W/(m K)}$				
Water vapour barrier	Polyethylene foil 0,2 mm <sup>16</sup> , SFS 4225, e.g. Lapin-Muovi	NPD		
		NPD		
	Aluminium paper, e.g. Rakonor Oy	NPD		
		$Z_p = 0,3 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \text{ sPa/kg}$		
Mechanical fasteners	Screws, 1,9 mm - 12 mm EN 14592, e.g. Wurth	NPD		
	Nails, 1,7 mm - 5,5 mm EN 14592, e.g. Koskensaaren, Kartro	NPD		
Fixings and other metal parts	Nailing plates, bracings and anchors, e.g. Sievi Steel OY	NPD		

<sup>16</sup> The ageing properties of the foil correspond to the intended working life of the building, 50 years, (see II 1 of this Approval).

	Sliding fixings Screw feet Stiffening rods and tubes Special fixings	NPD
Roofing	Concrete roof tiles, e.g. Monier	B <sub>ROOF</sub>
	Corrugated steel roofing, e.g. Ruukki	B <sub>ROOF</sub>
	Bituminous roofing EN 13707, e.g. Katepal	B <sub>ROOF(t2)</sub>
	Bituminous roof shingles EN 544, e.g. Katepal	B <sub>ROOF(t2)</sub>
Roof underlay	Reinforced plastic foil EN 13859-1, e.g. Tyvek Soft 1460B or Tyvek SuproT 2507B	NPD
Flooring	Timber planks	D <sub>FL-s1</sub>
	Soft wood flooring, EN 13990	D <sub>FL-s1</sub>
	Wood-based panel, P5 & P7, EN 13986, e.g. Schauman	D <sub>FL-s1</sub>
Internal lining <sup>17</sup>	Gypsum plasterboard, e.g. Knauf, EN 520	B-s1,d0
Sealing materials	Polyurethane foam, e.g. Wurth	NPD
The following are not part of the building kit, but they have been assessed with the building kit and they are necessary for the proper function of the kit.		
Internal walls, fire walls <sup>17</sup>	Bricks <sup>18</sup>	A1
Surface treatments and waterproofings <sup>17</sup>	Liquid applicable products	According to local provisions and the erection manual

Waterproofing materials to be used in the wet areas are not included in the delivery.

### 3 Identification of the kit

The CE-marking of every single delivery can be accompanied with the following table, where the options chosen have been marked.

WHOLE BUILDING KIT		
Name of the customer	Order number	Model
<b>ER1 Mechanical resistance and stability</b>	Values given in the element drawings	
<b>ER3 Hygiene, health and environment</b>	Name of any chemical treatment given in the element drawings	

<sup>17</sup> Will not be delivered but shall be installed according to the instructions of the kit manufacturer

<sup>18</sup> Brickwork shall be made according to the provisions valid on the building site.

<b>EXTERNAL WALL</b>				
<b>ER2 Safety in case of fire</b>	<b>Class</b>			
Reaction to fire, materials	As specified in materials list			
Reaction to fire, whole component	F			
Resistance to fire	NPD			
<b>ER5 Protection against noise</b>	<b>Value dB</b>			
Airborne sound insulation, $R_w$	NPD			
<b>ER6 Energy economy and heat retention</b>	<b>Value W/(m2K)</b>			
Wall thickness [mm]	191	263	308	336
Thermal transmittance $U_c$	0,33	0,21	0,17	0,15
<b>WINDOW/DOOR TYPE</b>				
MSEA-131	MSEA-175	EKA3-131	EKA3-175	NPD
<b>INTERNAL WALL</b>				
<b>ER2 Safety in case of fire</b>	<b>Class</b>			
Reaction to fire, materials	As specified in the materials' list			
Reaction to fire, whole component	F			
Resistance to fire	NPD			
<b>ER5 Protection against noise</b>	<b>Value dB</b>			
Airborne sound insulation, $R_w$	NPD			
<b>SUSPENDED FLOOR</b>				
<b>ER2 Safety in case of fire</b>	<b>Class</b>			
Reaction to fire	As specified in the materials' list			
Reaction to fire, whole component	$F_{FL}$			
Resistance to fire	NPD			
<b>ER5 Protection against noise</b>	<b>Value dB</b>			
Airborne sound insulation, $R_w$	NPD			
Impact sound insulation, $L_n,w$	NPD			
<b>ER6 Energy economy and heat retention</b>	<b>Value W/(m2K)</b>			
Thermal transmittance $U_c$	0,28	0,18	NPD	
<b>ROOFS</b>				
<b>ER2 Safety in case of fire</b>	<b>Class</b>			
Reaction to fire	As specified in the materials' list			
Reaction to fire, whole component	D-s2,d0		F	
Resistance to fire	NPD			
External performance in fire, whole component	$B_{ROOF}$		$B_{ROOF}(t2)$	
<b>ER6 Energy economy and heat retention</b>	<b>Value W/(m2K)</b>			
Thermal transmittance $U_c$			NPD	