

Utilização de perfis em madeira na produção de painéis pré- fabricados de parede

PAULO BARBAS RIBEIRINHO SOARES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS E GEOTECNIA

Orientador: Professor Doutor Humberto Salazar Amorim Varum

Coorientador: Professor Doutor Hipólito José Campos de Sousa

JANEIRO DE 2023

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2022/2023

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@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

✉ 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 em Engenharia Civil - 2021/2022 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2022.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo 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 eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus pais, a quem tudo devo

*Aprendi que devo sempre projetar
Seguindo a hiperestaticidade, para preservar
A estrutura na qual me quero albergar*

*Haverá pilares que cederão
Mas em vão não cairão
Se estiver bem pensada
Manter-se-á segura e compensada*

AGRADECIMENTOS

Quero aproveitar esta página para agradecer aos meus orientadores, que embora dispusessem de pouco tempo, arranjaram sempre espaço para me guiar e ajudar a completar esta tarefa.

O meu muito obrigado ao Prof. Humberto Varum, que mesmo não tendo previsto orientar nenhuma tese, para o período em questão, aceitou o meu pedido. O seu conhecimento na área e vontade de inovar, foram imprescindíveis para esta tese.

O meu muito obrigado ao Prof. Hipólito de Sousa, pelas suas dicas e sugestões fruto da sua experiência e visão da construção civil.

O meu muito obrigado ao Eng. Pedro Lopes, da Blufab, que se mostrou sempre pronto a ajudar, a clarificar e a melhorar os pontos que pretendia focar neste trabalho. A vontade de inovar e redesenhar o paradigma nacional, que sempre demonstrou, foram contagiantes e contribuíram bastante para que alcançasse este produto final.

Quero também agradecer ao Prof. Amorim Faria, ao Prof. Miranda Guedes e ao Prof. Miguel Castro, que sempre que foram interpolados por mim, me ajudaram e forneceram com conselhos muito valiosos, que redefiniram o caminho que estava a tomar.

Gostaria de deixar a minha palavra de apreço, ao Eng. Ricardo Brás da Rothoblaas, pela “explicação” privada que me deu acerca dos parafusos e dos perfis em madeira necessários à montagem de um protótipo.

E por fim, quero deixar um grande agradecimento a todos os que contribuíram para a criação e manutenção desta grande instituição, que é a FEUP. Para que alunos como eu, pudessem usufruir de condições de excelência e várias oportunidades de uma vida.

RESUMO

A presente dissertação de mestrado foi desenvolvida em ambiente empresarial. A empresa em questão tem como foco a pré-fabricação de módulos de quarto de banho, cujo objetivo central é dar o seu contributo para a aceleração do processo de industrialização da construção civil. Após diversas conversações, decidiram lançar o desafio de estudar a viabilidade da substituição de perfis metálicos por perfis em madeira, presentes em elementos pré-fabricados. Assim sendo, e para melhor dar uma resposta a este desafio, foi decidido dividir este documento em duas partes principais.

A primeira parte baseou-se na pesquisa e investigação da história da utilização de materiais em construção, principalmente a madeira e o aço. Seguido do estudo das suas qualidades, defeitos e em que contextos foram empregues. Dado que o material escolhido para fazer a transição foi a madeira, este teve um destaque acrescido, relativamente aos demais materiais estudados durante a elaboração da dissertação.

A segunda parte deste documento, baseia-se no aprofundamento do estudo do estado de arte da madeira, enquanto material construtivo e dos sistemas construtivos, a si associados tais como os produtos derivados de madeira.

Por fim, e numa vertente mais prática desenvolveu-se uma solução efetiva a aplicar à substituição dos perfis, já referidos.

PALAVRAS-CHAVE: Madeira, Aço galvanizado, Pré-fabricação, Industrialização, Sustentabilidade.

ABSTRACT

This master's thesis was developed in a business environment. The hosting company is focused on building off-site bathroom modules. Whose central objective is to contribute to the acceleration of the industrialization process in civil construction.

After several conversations, the two parties involved decided to launch the challenge of studying the feasibility of replacing metal profiles with wooden profiles, present in elements manufactured off-site. Therefore, and to better respond to this challenge, it was decided to divide this document into two main parts.

The first part was based on researching and investigating the history of the use of materials in construction, mainly wood and steel. Followed by the study of their qualities, defects and in which contexts they were used. Given that, the material chosen to make the transition was wood, this one had an increased prominence, in relation to the other materials studied in this work.

The second part of this document is focused on furthering the study of the state of the art of wood, as a building material and the building systems associated with it, such as Cross laminated Timber and Glued Laminated Timber.

Finally, and on a more practical level, a study is provided to see the possible effective solutions to apply to the replacement of the aforementioned profiles.

KEYWORDS: Wood, Galvanized Steel, Prefabrication, Industrialization, Sustainability.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	VII
RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
ÍNDICE GERAL	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIXI
ÍNDICE DE QUADROS.....	XIXX
ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	XXI

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO GERAL	1
1.2 OJETIVOS.....	1
1.3 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DISSERTAÇÃO.....	1
2. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS DE PAREDES.....	3
2.1 Introdução.....	3
2.2 Exemplos de Soluções.....	3
2.2.1 PANORAMA INTERNACIONAL SÉCULO XX.....	5
2.2.2. EUROPA.....	5
2.2.3. AMÉRICA DO NORTE.....	6
2.2.5 PORTUGAL.....	7
2.3. DEFINIÇÃO DE CONSTRUÇÃO LEVE E CONSTRUÇÃO PESADA.....	8
2.4. CONSTRUÇÃO LEVE – BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA.....	12
2.4.1 CONSTRUÇÃO EM MADEIRA.....	12
2.4.2. CONSTRUÇÃO EM AÇO.....	13
2.4.3. AÇO ALIGEIRADO.....	14
2.5 Pré-Fabricação.....	16
2.5.1. CONSTRUÇÃO MODULAR.....	17
2.5.2. NORMAS EUROPEIAS.....	21
2.5.2.1. EUROCÓDIGOS.....	21
2.5.2.2. ENQUADRAMENTO NACIONAL.....	22
3. MADEIRA E A EVOLUÇÃO DA SUA UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO.....	23
3.1 MADEIRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO.....	23

3.2 PROPRIEDADES MADEIRA	23
3.2.1 COMPORTAMENTO MECÂNICO.....	24
3.2.2 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	24
3.2.2 RETRATILIDADE E DUREZA.....	24
3.2.2 INFLAMABILIDADE	25
3.2.2 DILATAÇÃO E CONDUTIVIDADE TÉRMICA.....	25
3.2.2 ACÚSTICA	26
3.3 MADEIRA EM PORTUGAL	27
3.3.1 CONSTITUIÇÃO ELEMENTAR DAS ÁRVORES.....	27
3.3.1 PINHEIRO-BRAVO.....	29
3.3.1 CASTANHEIRO.....	30
3.3.1 CARVALHO.....	31
3.4.SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS EM MADEIRA – EVOLUÇÃO	32
3.4.1 LOG HOUSE.....	34
3.4.2 BALLOON FRAME.....	35
3.4.3 PLATFORM FRAME.....	36
3.4.4 EDIFÍCIO POMBALINO.....	36
3.4.5 CASA BURGUESA PORTO.....	38
4.PRODUTOS DERIVADOS DA MADEIRA	41
4.1.MADEIRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO.....	41
4.1.1 MADEIRA LAMINADA CRUZADA.....	42
4.1.2 HOMOLOGAÇÃO.....	42
4.1.3 ANÁLISE ESTRUTURAL.....	43
4.1.4. DURABILIDADE.....	44
4.1.4. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS.....	44
4.1.4. COMPORTAMENTO SÍSMICO	45
4.1.4. COMPORTAMENTO ACÚSTICO E TÉRMICO.....	46
4.1.5. VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	47
4.1.6. MADEIRA LAMELADA COLADA.....	47
4.1.6.1 DESCRIÇÃO PRODUTO.....	47
4.1.6.1 INFORMAÇÃO TÉCNICA	48
4.1.6.1 EXEMPLOS DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....	49
5. CASO PRÁTICO	51
5.1 ENQUADRAMENTO.....	51
5.2 ENQUADRAMENTO ESTRUTURAL.....	51

5.3 DIMENSIONAMENTO SEGUINDO O EUROCÓDIGO 5	52
5.3.1 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO.....	53
5.3.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	54
5.3.3 LIGAÇÃO PERFIS MADEIRA.....	55
5.3.4 CICLO DE VIDA.....	56
6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	57
6.1 CONCLUSÕES.....	57
6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	57
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. – Evolução das fachadas em Portugal, Sousa (1995).....	5
Figura 2.2. – Revestimento exterior de fachadas de habitações unifamiliares nos E.U.A.....	7
Figura 2.3. – Uso de edifícios em Portugal, Pompeu (2002)	7
Figura 2.4. – Materiais usadas em edifícios europeus, Pompeu (2002).....	8
Figura 2.5. – Templo Horyuji, Japão	12
Figura 2.6. – Torre Eiffel em diferentes etapas de construção	14
Figura 2.7. – Edifício Empire State, Nova Iorque.....	14
Figura 2.8. – Estrutura em aço leve galvanizado.....	15
Figura 2.9. – Construção modular, Off-site	17
Figura 2.10. – Construção Modular 2.....	18
Figura 2.11. – Construção Modular 3.....	18
Figura 2.12. – Construção Modular 4.....	19
Figura 2.13. – Construção Modular 5.....	19
Figura 3.1. – Anéis árvore.....	28
Figura 3.2. – Folhas Lineares, Bastos (2019)	28
Figura 3.3. – Folhas aciculares, Bastos (2019).....	29
Figura 3.4.– Folhas escamiformes, Bastos (2019)	29
Figura 3.5. – Pinheiro-Bravo, Bastos (2019).....	30
Figura 3.6. – Castanheiro, Bastos (2019)	31
Figura 3.7. – Folhas carvalho.....	31
Figura 3.8. – Carvalho, Bastos (2019)	32
Figura 3.9. – Bingogokoku-jinja.....	33
Figura 3.10. – Pagode Yingxian, Bastos (2019)	33
Figura 3.11 – Igreja dos Santos Arcanjos, Roménia, Bastos (2019)	34
Figura 3.12. – Log House, Bastos (2019)	35
Figura 3.13. – Etapas construtivas Balloon Frame, Bastos (2019).....	35
Figura 3.14. – Etapas construtivas Platform Frame, Bastos (2019)	36
Figura 3.15. – Baixa Pombalina, França (1989)	37
Figura 3.16. – Estrutura Gaiola Pombalina, Lopes (2012).....	37
Figura 3.17. – Parede em tabique, Bastos (2019)	38
Figura 3.18. – Construção em Fachwerk, Wittmann (2016)	38
Figura 3.19. – Parede em enxaimel, Bastos (2019).....	39
Figura 4.1. – CLT, Buck (2016).....	42

Figura 4.2. – Edifício Stadthaus, Bastos (2019).....	43
Figura 4.3. – Tensões CLT, (Lourenço et al. 2013)	44
Figura 4.4. - Relação temperatura/ tempo, madeira maciça sob ação do fogo, Structure Magazine (2019).....	45
Figura 4.5. - Carbonização camada exterior, Sarma (2017).....	45
Figura 4.6 - Vigas em glulam, Holz (2022).....	48
Figura 4.8 – Fase construção hotel B&B Guimarães	49
Figura 4.7. – Fase construção hotel B&B Guimarães	49
Figura 5.1. – Classes resistência madeira, EN338:2016.....	52
Figura 5.2. – Esforços axiais, Ftool	53
Figura 5.3. – Carga distribuída, esforços axiais.....	53
Figura 5.4. – Deformada, Ftool	53

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1. - Soluções construtivas de paredes, contínuas realizadas “in situ”	4
Quadro 2.2. Soluções construtivas de paredes, alvenarias.....	4
Quadro 2.3 – Classe de Inércia térmica interior.....	8
Quadro 2.4. - Peso habitação de 2 pisos em sistema de construção tradicional	10
Quadro 2.5. - Peso habitação de 2 pisos em sistema de construção leve	10
Quadro 2.6. – Materiais, espessuras e pesos utilizados no Quadro 2.5	9
Quadro 2.7. – Vantagens e desvantagens da construção pesada	11
Quadro 2.8. – Vantagens e desvantagens da construção leve	11
Quadro 2.9. – Vantagens e desvantagens do uso da madeira.....	13
Quadro 2.10. – Vantagens e desvantagens construção em LSF	15
Quadro 2.11. – Vantagens e desvantagens construção modular	20
Quadro 2.12. – Lista de Eurocódigos Europeus	21
Quadro 3.1– Condutividade térmica madeiras, Gauzin-Müller (1990).....	25
Quadro 3.2. – Condutividade térmica materiais típicos construção, Gauzin-Müller (1990).....	25
Quadro 3.3– Velocidade de propagação do som em diferentes materiais	26
Quadro 3.4. – Árvores com maior expressão nacional em 2015, (IFN 6)	30
Quadro 4.1. – Coeficiente Transmissão térmica.....	46
Quadro 4.2. – Vantagens e desvantagens CLT.....	47
Quadro 5.1. – Produtos Ligação.....	55
Quadro 5.2. – Verificação segurança Ligação	55
Quadro 5.3. - Ciclo de vida completo, [35][36].....	56

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABREVIATURAS

BIM – Building Information Modeling

CE - Conforme Europeenne

FSC - Forest Stewardship Council

PEFC - Programme for the Endorsement of Forest Certification

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

CEN – Comité Europeu de Normalização

GWP – Global Warming Potencial

AÇÕES E RESISTÊNCIAS

$R_{ax,k}$ - Valor característico, resistência à tração

R_{vd} - Resistência de cálculo conector tração

R_{vk} - Resistência característica conector à tração

$R_{ax,d}$ - Valor de cálculo, resistência à tração

R_{1d} - Resistência à tração do sistema

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

$f_{c,90,d}$ - Valor de cálculo da resistência à compressão na direção perpendicular ao fio

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

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

k_c - Fator de instabilidade na direção do fio

$\sigma_{c,0,d}$ - Valor de cálculo da tensão de compressão na direção do fio

$\sigma_{t,90,d}$ - Valor de cálculo da tensão de tração perpendicular ao fio

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

$N_{comp,sd}$ - Esforço axial de cálculo à compressão

$N_{t,sd}$ - Esforço axial de cálculo à tração

C_{18} - Identificação classe resistência madeira maciça

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

LIGADORES

n – Quantidade de conectores

m – Quantidade de filas consecutivas de conectores

s – Espaçamento

B – Largura Chapa

H – Comprimento chapa

β_c - Fator de retidão

λ - Coeficiente de esbelteza correspondente a uma flexão

λ_{rel} - Coeficiente relativo de esbelteza correspondente à flexão

ρ_k - Valor característico da massa volúmica

d_1 – Diâmetro corpo parafuso

L – Comprimento parafuso

$k_{c,90}$ - Fator de instabilidade na direção perpendicular ao fio

k_{mod} - Fator de correção para a duração das ações e para o teor em água

γ_M - Coeficiente de segurança

k_h - Fator de profundidade

1 INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO GERAL

A madeira é um dos materiais mais discutidos e usados, quando se fala em pré-fabricação e industrialização do setor da construção civil. Graças às suas propriedades, de fácil manuseamento, fácil transporte e montagem, tem-se mantido como um material capaz de dar resposta a muitas das exigências que lhe têm sido impostas ao longo dos tempos. No entanto, essas mesmas exigências são cada vez mais específicas e escrupulosas, levando a que o material tenha dificuldade em competir com as restantes opções, derivadas de processos de fabrico complexos. Como modo de resposta, surgem os sistemas construtivos em madeira, que tiram proveito das mesmas características que tão bem definem o material, enquanto a tornam num produto mais resistente e capaz de enfrentar novos desafios.

1.2. OBJETIVOS

Os objetivos desta dissertação, são:

1. Exploração e investigação de materiais utilizados na construção, ao longo de um largo período histórico. Com especial foco, no material supramencionado, a madeira;
2. Evolução da madeira enquanto material construtivo;
3. Desenvolvimento de uma proposta em ambiente empresarial, de uma parede portátil realizada com perfis de madeira;
4. Apresentação de campos a estudar para uma continuação e respetivo aprofundamento do tema.

1.3. ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DISSERTAÇÃO

O segundo capítulo, apresenta diferentes soluções de construção, em diferentes mercados à volta do globo. Assim como, a evolução dos sistemas construtivos associados à crescente diversificação de soluções.

No terceiro capítulo, é apresentada uma abordagem semelhante, mas com um foco muito maior na madeira. A sua presença em diferentes culturas, assim como as diferentes soluções engendradas e aplicadas mundialmente.

O capítulo quatro, tem como objetivo a mostrar o desenvolvimento dos sistemas evolutivos que advêm da madeira, tais como a madeira lamelada colada, entre outros. Alguns exemplos de construções, são dados ao longo desta secção.

Durante o quinto capítulo é desenvolvido o caso prático, onde é discutida a estrutura em madeira projetada para dar resposta ao desafio da empresa. Por último, no capítulo sexto encontram-se as conclusões e perspetivas futuras de trabalhos a serem continuados.

2

SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS DE PAREDES

2.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo dedica-se à breve descrição de soluções construtivas usadas na construção de paredes de edifícios. Com o intuito de elucidar acerca das apostas feitas no mercado português assim como nos mercados internacionais. Serão explicitadas as funções das paredes interiores e exteriores, assim como a sua localização, com um maior escrutínio nos edifícios de menores dimensões. Uma análise temporal também será disposta ao conhecimento do leitor. Após a comparação de diferentes soluções, o foco será imposto a construções ditas leves, expondo os materiais escolhidos bem como as soluções estruturais. Em último lugar, será feita uma análise acerca da industrialização do setor, assim como os diferentes aspetos a si associados.

2.2. EXEMPLOS DE SOLUÇÕES

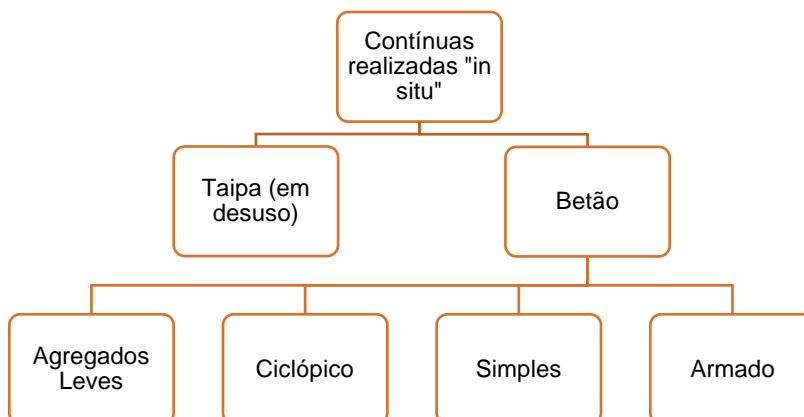
Consoante o local onde se encontram as paredes, ser-lhes-ão atribuídas diferentes designações. Poderão desempenhar uma função estrutural, normalmente designado às paredes exteriores, ou interiores, usualmente desempenhando a função de compartimentação de espaços interiores. As paredes exteriores são designadas de fachada, caso estas se encontrem na envolvente do edifício, prestando a primeira afirmação visual. Terão um aspeto mais cuidado e harmonioso a fim de dar essa resposta. Poderão ainda ser classificadas como paredes de empena, se se encontrarem adjacentes a construções terceiras. O seu aspeto é geralmente menos cuidado que as paredes de fachada.

As paredes podem ser constituídas por um certo número de panos, sendo os casos mais usuais compostos por um ou dois panos. Se a sua resistência for elevada e se suportarem uma parte significativa das cargas, são ditas como paredes resistentes. Caso contrário serão paredes não resistentes. Ainda poderão ser subdivididas como contínuas ou não. Ambas são adequadas para a construção de paredes, mas as primeiras são realizadas por painéis de grandes dimensões, enquanto as segundas são constituídas por elementos de pequenas dimensões como por exemplo, tijolos.

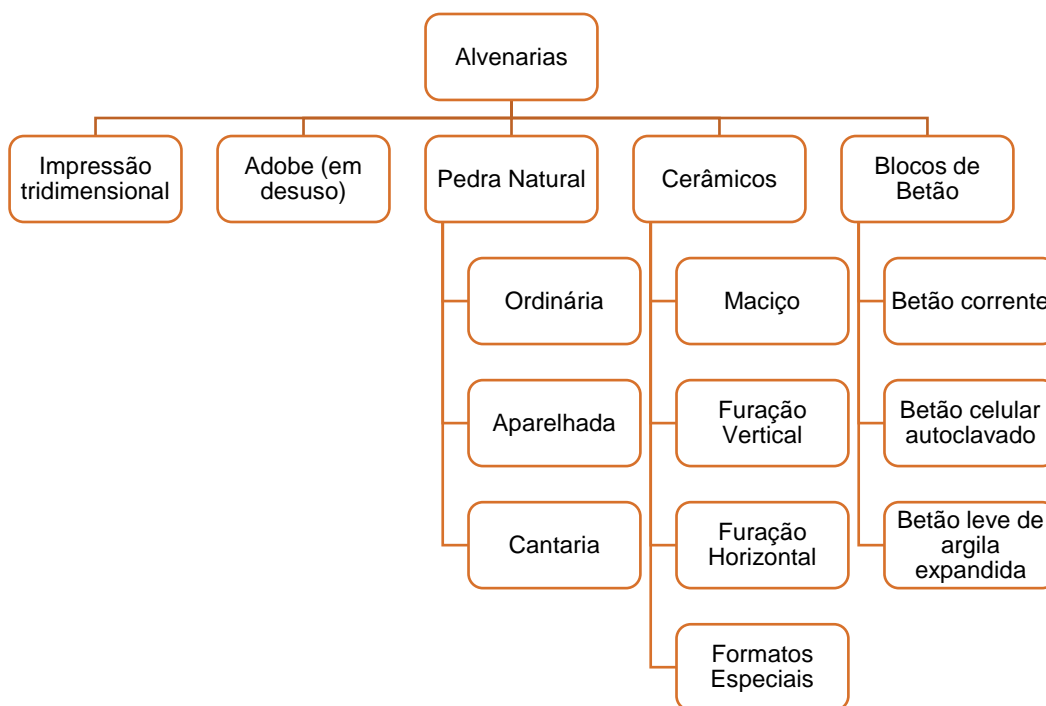
Para além dos requisitos divulgados, as paredes também têm de obedecer a parâmetros térmicos, acústicos, de estanquidade, sísmicos, de segurança contra terceiros e incêndios, de resistência e não possuir compostos capazes de danificar a saúde dos seus utentes.

Existe um grande número de soluções construtivas através do Quadro 2.1. são resumidas algumas das soluções mais frequentes em Portugal, designadas de contínuas. No Quadro 2.2. encontram-se sintetizadas soluções correntes em alvenaria.

Quadro 2.1. - Soluções construtivas de paredes, contínuas realizadas "in situ".



Quadro 2.2. Soluções construtivas de paredes, alvenarias.



Para além das soluções apresentadas, existem também muitas outras formadas por elementos metálicos (alumínio ou aço), madeira, fibrocimento, gesso, etc. Na sua generalidade não representam as soluções mais usadas em Portugal, razão pela qual não foram incluídas.

Desde inícios do século passado que investigadores da área têm batalhado para descobrir novas soluções. Dado que a redução de custos e recursos estão sempre previstos como metas a alcançar, os avanços têm-se dado em várias frentes, nomeadamente através da redução da massa volúmica. Contribuindo, concomitantemente para o aumento da produtividade da mão-de-obra, diminuição de despesas com os materiais e diminuição das cargas aplicadas em edifícios.

Inicialmente as paredes eram construídas com um único pano resistente em alvenaria de pedra ou tijolo maciço. Por volta dos anos 50 passaram a ser duplas, com o pano exterior em alvenaria de pedra ou tijolo maciço. Foi acrescentada uma caixa de ar entre os panos de parede exterior e interior, sendo este em tijolo furado. Nos anos 60 a alvenaria de pedra do pano exterior da parede é substituída por tijolo furado, o que representou um passo importante na redução do peso das paredes. Durante os anos 70, o peso das paredes ainda se vê mais reduzido, por consequência da diminuição da espessura do pano exterior da parede em tijolo furado. Esta solução viria a apresentar algumas dificuldades, principalmente no que diz respeito ao comportamento térmico dos edifícios. Razão pela qual nos anos seguintes se passou a incorporar isolamento térmico nas paredes e se voltou a aumentar a espessura do pano exterior da parede de tijolo furado, de que é o exemplo que concerne aos anos 80. Mais recentemente, durante os anos 90, assistiu-se a um retorno às soluções construtivas à base de pano de parede simples que no caso de ser realizada em tijolo furado volta a diminuir a massa da parede, e ao mesmo tempo a uma proliferação significativa dos isolamentos térmicos pelo exterior recobertos por reboco armado delgado, ou soluções de fachada ventilada que vieram resolver muitos dos problemas relativos às pontes térmicas, especialmente presentes nas soluções dos anos 80.

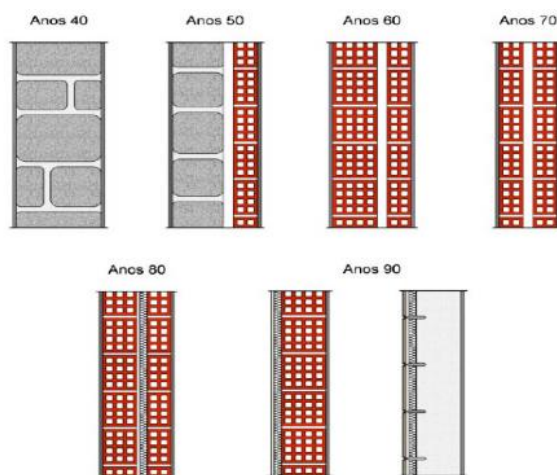


Figura 2.1 – Evolução das fachadas em Portugal, Sousa (1995)

2.2.1. PANORAMA INTERNACIONAL SÉCULO XX

No contexto internacional existe uma variedade considerável de soluções construtivas de paredes. A sua heterogeneidade advém de pressões culturais, climáticas, da disponibilidade de materiais e de mão de obra. Assim sendo, existem nações mais especializadas em construções leves, usualmente representadas por países nórdicos ou norte americanos, como por exemplo. Em alternativa, existem os países, mais especializadas em construções pesadas, nomeadamente betão armado, como é o caso de Portugal. De seguida são apresentados alguns exemplos de soluções praticadas nos Estados Unidos da América, na Alemanha, nos países nórdicos e em Portugal. Os dados que aqui se apresentam foram coletados do livro de Pompeu (2002).

2.2.2. EUROPA

A Alemanha, apresentava-se completamente dominada pela construção pesada. Perfazendo um total de 88%, não deixando assim dúvidas acerca de qual dos métodos, foi o mais empregue. Sendo que a construção em alvenaria apresenta o maior peso, 82%, seguida da construção em betão e aço, muito pouco expressiva, com um peso de apenas 6%.

Na Finlândia existia uma predominância de madeira, como material escolhido para a construção de edifícios unifamiliares. Embora a sua procura tenha diminuído no decorrer do século passado, a sua utilização continuou superior aos demais. O betão manteve-se, sensivelmente constante e o aço vê o maior crescimento do mercado. No caso dos edifícios de vários pisos, os materiais predominantes foram o betão pré-fabricado e o betão. Razão justificável pela maior resistência estrutural destes elementos, assim como, o maior nível de conhecimento do funcionamento destes materiais em construções pesadas.

Em suma a madeira e o aço foram usados em maior quantidade para construção leve, em contraste com o betão normal e pré-fabricado que terá sido mais utilizado para construções pesadas.

Já no que toca às fachadas de edifícios de até dois pisos, o betão e o tijolo têm perdido procura face às soluções em madeira e aço. Para os edifícios residenciais de múltiplos andares, são mais utilizadas as soluções em tijolo. Mais uma vez, o betão também se mantém como uma solução muito usada para construção em altura. Tal como referenciado anteriormente, destaca-se o uso de betão, tijolo e betão pré-fabricado para construções pesadas e os demais para construção leve. Embora o aço também pudesse ser usado para as construções pesadas, o seu custo de mercado era superior aos materiais alternativos.

Em suma, a realidade finlandesa durante a época de estudo, para edifícios de até dois pisos são escolhidas, maioritariamente, soluções em madeira para dar resposta às exigências estruturais. Representado cerca de 2/3 do total do mercado. As soluções em betão pré-fabricado apresentavam 25% da quota de mercado, como afirma Pompeu (2002). No que concerne à utilização de materiais para a construção de fachadas, a madeira continua a ser o material mais usado.

2.2.3. AMÉRICA DO NORTE

Nos Estados Unidos da América, em habitações unifamiliares novas, constata-se que nas fachadas existe uma maior abundância de revestimento em vinil, ver figura 2.2. Ainda com uma expressão significativa, apresentam-se as soluções em reboco, com uma percentagem de 21 e as soluções em tijolo com 24% de quota do mercado. Também de referir que a madeira se apresenta com um peso de 9% na construção de fachadas em edifícios novos de pequenas dimensões.

Não obstante à interpretação direta que se faz da figura, será importante referir que certos tipos de revestimento carecem de uma solução resistente onde os mesmos terão de assentar, i.e., soluções como o reboco têm de ser emparelhadas com alvenaria, mesmo estando esta coberta é imprescindível para fornecer a sustentação necessária às cargas aplicadas. O que permite aferir que neste mercado, existe uma forte presença de alvenarias, podendo atingir 45% da quota do mercado. O mesmo se poderá extrapolar para os revestimentos em vinil. Embora possam ser combinados com mais do que uma solução, a madeira é uma solução usual. Por fim será interessante destacar que neste país a construção de edifícios residenciais assenta predominantemente em soluções de alvenaria resistente e madeira. Constata-se que no estado da Califórnia, o material mais usado para a este tipo de construção era a madeira, um sistema considerado leve.

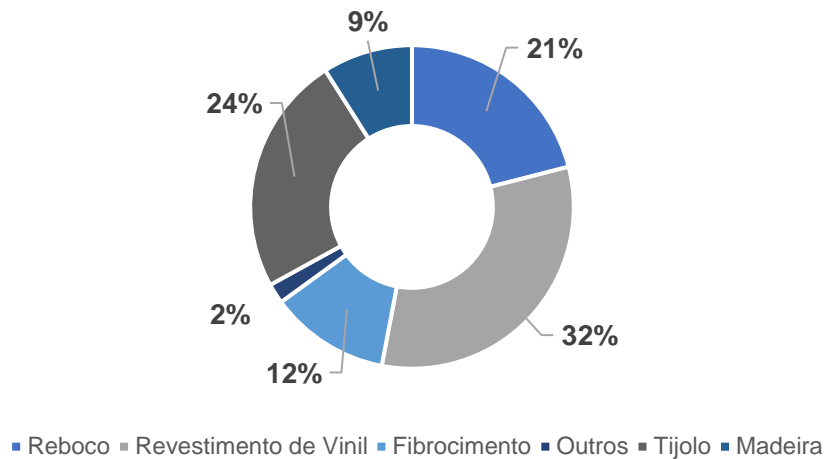


Figura 2.2. – Revestimento exterior de fachadas de habitações unifamiliares nos E.U.A, [2]

2.2.5 PORTUGAL

Para o mesmo período, anteriormente estudado, segundo os censos em Portugal 75% das construções eram de natureza habitacional, figura 2.3.

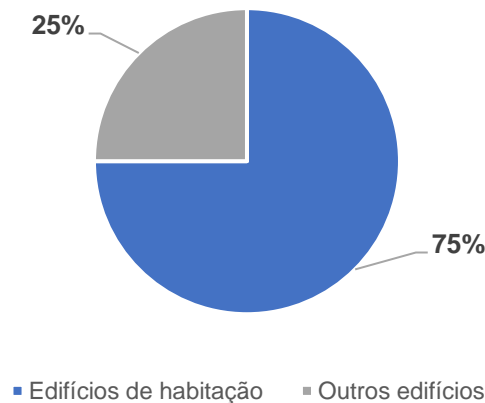


Figura 2.3. – Uso de edifícios em Portugal, Pompeu (2002)

Com base na informação anteriormente mencionada, seria expectável assumir que a maior parte do material utilizado em Portugal seria madeira ou alvenaria, uma vez que 75% dos edifícios são de utilização habitacional. No entanto, esta assunção estaria errada. Quase 90% dos edifícios construídos em Portugal, durante o início do século 21, foram em betão armado. Mesmo tendo em conta que para habitações menores, a construção em madeira ou alvenaria apresentar diversas vantagens. As razões para tal acontecer, são estudadas mais a fundo no capítulo seguinte.

Embora também se verifique a utilização de betão armado noutros países, figura 2.5., nenhum demonstra uma preferência tão óbvia como Portugal.

Dinamarca e Luxemburgo optam, preferencialmente pela construção em alvenaria resistente.

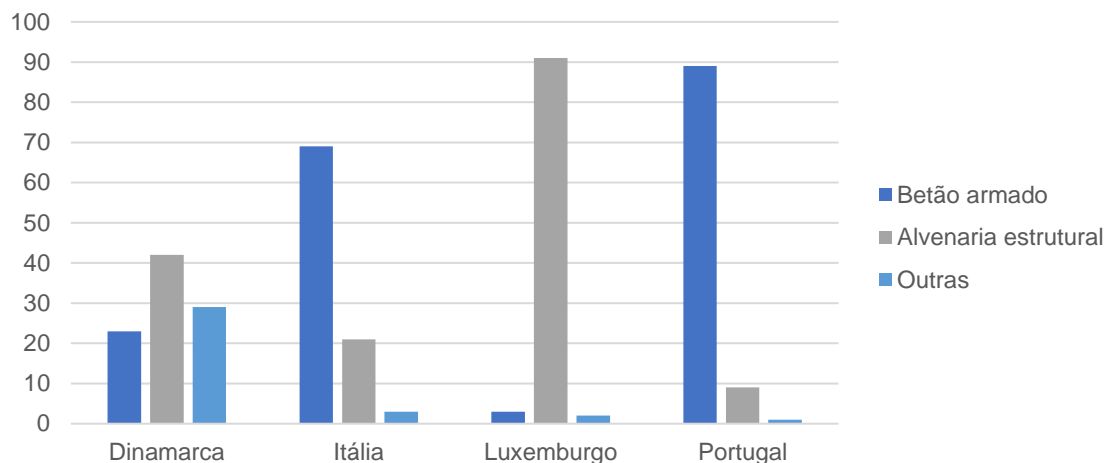


Figura 2.4. – Materiais usadas em edifícios europeus, Pompeu (2002)

2.3. DEFINIÇÃO DE CONSTRUÇÃO LEVE E CONSTRUÇÃO PESADA

Para melhor entendimento das definições de construção leve e pesada, será útil estabelecer a definição de construção leve e de construção pesada, tendo em conta os seus comportamentos em diferentes climas, a sua diferença em massa total e os prós e contras associados a cada uma delas. A grande dificuldade inerente a esta definição reside na não existência de uma distinção oficial e publicada. Então, um método usual para melhor compreender este conceito, será o de seguir a explicação que o “Regulamento das características de comportamento térmico de edifícios” – RCCTE [3], estabelece. Segundo este regulamento, a inércia de um edifício pode ser definida como a massa da parede interior ao isolamento térmico por m² de pavimento, como demonstra a equação abaixo representada na figura 2.12.

$$I_t = \frac{\sum M_{s_i} S_i}{A_p} \quad (2.1)$$

M_{s_i} - massa superficial útil do elemento i (kg/m²);

S_i - área da superfície interior do elemento i (m²);

A_p - área útil de pavimento (m²).

O mesmo regulamento após a exposição da fórmula da equação 2.1, apresenta um quadro onde define o balizamento a levar em conta, consoante o valor calculado. Tais valores estão presentes no seguinte Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Classe de Inércia térmica interior

Classe de Inércia	Massa superficial útil por metro quadrado da área de pavimento (kg/ m ²)
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

No entanto após esta definição pode surgir a seguinte questão: Como pode a inércia contribuir para a definição de construção pesada ou leve? Bom, a resposta prende-se com o facto de a inércia de um edifício se apresentar como uma característica deveras importante, especialmente no que toca ao comportamento que a edificação irá apresentar com base no ambiente climático em que se insere. A classe de inércia a dar a uma construção deve ser cuidadosamente pensada e ponderada consoante as intempéries a enfrentar.

Por exemplo, em Portugal poderão considerar-se dois tipos de clima. Clima temperado-ameno ao longo da margem litoral com temperaturas amenas ao longo do ano e clima temperado-frio, típico do interior do país, com uma baixa humidade relativa, amplitudes térmicas acentuadas e Invernos mais frios. Assim sendo, soluções de elevada inércia térmica na vertente litoral serão adequadas e ainda mais adequadas serão para o interior, uma vez que a amplitude térmica é mais notável.

Num clima quente e seco, já será aconselhável o uso de construções com inércia térmica elevada, devido às grandes variações térmicas diurnas. Num clima quente e húmido, a humidade relativa presente no ar atenua as variações térmicas sentidas, contribuindo para amenização da flutuação térmica, entre o dia e a noite. Para tais situações, soluções de baixa inércia térmica serão eficazes, sendo recomendáveis para tal, edifícios de construção leve bem isolados termicamente.

Para além destes fatores, o tipo de utilização também é um parâmetro a considerar. No caso de climas frios, aconselha-se o uso de soluções com isolamento térmico elevado e uma inércia alta se o edifício for de utilização corrente ou baixa se for de utilização esporádica, como é o caso com casas de férias em instâncias de ski. Uma vez que edifícios com maior inércia térmica levarão mais tempo a atingir uma temperatura nomeada de confortável e por sua vez consumirão mais energia. O mesmo raciocínio poderá ser aplicado aos edifícios de uso contínuo. A sua elevada inércia atrasará o arrefecimento gradual da habitação, tornando-a mais eficiente.

De seguida é exposto um exemplo onde será possível comparar as diferenças de massa total associadas a dois sistemas construtivos. Será importante referir que a massa total que uma construção tenha, em muito influenciará o seu comportamento térmico. A primeira recorrendo a uma estrutura reticulada típica em betão armado com alvenaria de preenchimento e a segunda recorrendo a uma solução leve, em metal.

Para que a comparação pudesse ser efetuada, utilizou-se um projeto de uma habitação já existente, reticulada em betão armado, ou seja, uma construção considerada pesada e efetuou-se o cálculo do peso por metro quadrado de pavimento, ver Quadro 2.5. Uma vez que o objetivo era fazer uma análise de natureza comparativa, procedeu-se ao cálculo da segunda solução supondo que as paredes e pavimentos eram constituídos por uma estrutura metálica revestida por materiais, frequentemente, conjugados com construções leves, ver Quadro 2.6. No final obteve-se a diferença de massa possível de se obter, alterando as soluções, por metro quadrado de área bruta. Sendo que em ambos os casos a área de construção é 260 m². Todo este exemplo, foi estudado e desenvolvido por Pinto (2010).

Quadro 2.4 – Materiais, espessuras e pesos utilizados no Quadro 2.5 e 2.6

Material (espessura [mm])	Peso [KN/m²]
Placa OSB (11)	0,07
Gesso cartonado	0,08
Lã de vidro (40)	0,048
Poliestireno expandido (40)	0,012
Reboco delgado (10)	0,21

Quadro 2.5. - Peso habitação de 2 pisos em sistema de construção tradicional

		Peso [kN]
R/C	Paredes exteriores	470,04
	Paredes interiores	169,30
	Laje do teto R/C	588,76
1º Andar	Paredes exteriores	530,38
	Paredes interiores	262,48
	Laje de teto 1º andar	555,98
Total [kN]		2 576,94
Total [kN/m ²]		9,91

Quadro 2.6. - Peso habitação de 2 pisos em sistema de construção leve

		Peso [kN]
R/C	Paredes exteriores	59,38
	Paredes interiores	21,08
	Laje do teto R/C	112
1º Andar	Paredes exteriores	61,55
	Paredes interiores	32,68
	Laje de teto 1º andar	103,36
Total [kN]		390,05
Total [kN/m ²]		1,50

Aquando da leitura dos Quadros fornecidos, é possível constatar as diferenças de massa inerentes a estes dois estilos de construção. Enquanto uma solução construtiva corrente atingirá valores entre 900 e 1000 kg/m², uma solução semelhante realizada em materiais leves apresentará valores próximos de 150 kg/m². Para colocar em perspectiva, esta diferença representa uma diferença absoluta de massa por metro quadrado de 6 a 7 vezes. É claro que um desfaseamento de tal ordem apresenta condicionamentos no dimensionamento futuro da habitação em causa. Será óbvio assimilar que a estrutura do edifício, na solução tradicional, terá de ser dimensionada para suportar cargas muito superiores à solução da construção leve. Associada a esta resistência acrescida, vêm os custos acrescidos.

Será, então uma vantagem a ter em conta dos sistemas construtivos leves. O seu mais reduzido custo de material, em situações como a descrita e também a maior facilidade de manuseamento. Dado que os elementos são mais leves, a sua assemblagem e/ou construção será facilitada. Esperam-se também, cada vez mais incentivos governamentais para apoiar este tipo de soluções. Embora não sejam abundantes, têm surgido cada vez mais, acompanhados por uma preocupação

crescente do público em geral, por soluções mais “verdes”. Mudanças de paradigma levam sempre o seu tempo a fincar, mas lentamente as mudanças fazem-se sentir e os conhecimentos nesta nova área começará a melhorar, especialmente em Portugal, onde tais práticas são tão pouco expressivas. Uma razão muito favorável à mudança na construção, está relacionada com a industrialização. Surgem cada vez mais soluções e empresas como a Blufab, em que o objetivo é dar vida à industrialização no setor. No mercado europeu, existe uma forte aposta nesta nova e empolgante maneira de olhar para a construção. Tentando seguir os paços do setor automóvel, segue-se o setor da construção. Um dos mais importantes indicadores da vitalidade de uma nação. À medida que as soluções se apresentam mais otimizadas e lucrativas, as empresas seguirão estes novos caminhos por desbravar.

Seguidamente, encontram-se dois quadros em que destacam algumas das vantagens e desvantagens dos sistemas construtivos explorados neste subcapítulo.

Quadro 2.7. – Vantagens e desvantagens da construção pesada

Construção Pesada	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Inércia térmica elevada; ❖ Bom isolamento acústico; ❖ Economia na utilização sob o ponto de vista das necessidades de aquecimento; ❖ Melhor conhecimento das soluções pelos profissionais do sector; ❖ Maior controlo normativo das soluções; 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tempo de construção mais demorado; ❖ Custos tendencialmente mais elevados de construção; ❖ Maiores dificuldades na industrialização do sector; ❖ Potencial de impacte ambiental elevado;

Quadro 2.8. – Vantagens e desvantagens da construção leve

Construção Leve	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Impacte ambiental tendencialmente mais reduzido; ❖ Maior economia na construção dos edifícios; ❖ Simplicidade construtiva; ❖ Rapidez de execução; ❖ Fácil controlo dos materiais em fábrica. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Falta de mão de obra especializada; ❖ Maior necessidade de manutenção; ❖ Comportamento fraco relativo a ataques biológicos (no caso da madeira);

2.4. CONSTRUÇÃO LEVE – BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

As soluções construtivas leves, viram o seu início em meados do século XIX nos Estados Unidos da América. A população do país, atravessava um forte crescimento que exigia albergamento rápido e seguro. Para dar resposta a esta exigência era necessário um método que combinasse um

material de fácil obtenção e que permitisse ser manobrado facilmente. A madeira das vastas florestas da enorme área onde se encontravam, destacou-se como solução ao problema.

Revelou-se muito eficaz à resolução deste problema, era um material barato, com bastante abundância, encontravam-se próximas e apresentavam boas propriedades para a construção. O “Log House” é um exemplo empregue nessa altura.

Décadas passaram e o cenário geopolítico mudara drasticamente. As exigências e forças empresariais tinham tomado proporções muito maiores. Aquando do fim da segunda grande guerra, a indústria metalúrgica enfrentava um impasse. Todo o seu desenvolvimento e investigação aparentava não ter mais uso num mundo em paz. Este setor entrou, então numa crise grave que necessitava urgentemente de retornar a lucrar ou enfrentaria uma extinção clara e definitiva. Durante o desespero da sua aniquilação surge a ideia de ingressar no mercado da construção nos Estados Unidos da América, concomitantemente com restrições ao abate de árvores. Surge assim a época do aço na construção.

2.4.1. CONSTRUÇÃO EM MADEIRA

Para pequenas habitações, a madeira é o material de construção resistente mais utilizado em todo o mundo. O começo do seu uso remonta há muitos séculos atrás. Exemplos como o templo Horyuji no Japão encontram-se a resistir ao sinal dos tempos há mais de 1300 anos, ver figura 2.5. A madeira é um produto natural com propriedades muito específicas. É um material heterogêneo e anisotrópico. A madeira é, portanto, aproveitada das árvores, ou mais precisamente dos troncos, por três tipos de cortes: tangencial, radial e axial. Existem duas grandes famílias de árvores, as gimnospermas, ou resinosas, e as angiospermas ou folhosas que são subdivididas em mais grupos, alguns dos quais fornecem madeira adequada para elementos estruturais.



Figura 2.5 – Templo Horyuji, Japão
(Figura de Michael Turtle, 2011, “THE WORLD’S OLDEST WOODEN BUILDING”,
<https://www.timetravelturtle.com/horyuji-japan-oldest-wooden-building/>)

As espécies resinosas que produzem material adequada para a construção em madeira são o pinheiro, o abeto, o cedro e o cipreste. Já as espécies folhosas que produzem boa madeira são o castanheiro, eucalipto, carvalho e noqueira.

Para efeitos de construção nem toda a madeira apresenta a qualidade exigida. Das várias camadas constituintes de um tronco, apenas as mais interiores são aproveitáveis. O cerne, como é denominada a camada mais interna, é composta por células que já se encontram mortas no momento do derrube da árvore. Devido a esta razão, esta região fornece madeira de qualidade para a construção. Por sua vez, a camada que envolve o cerne, o borne, é composto por células vivas. Esta característica, leva à maior suscetibilidade a problemas derivados de ataques de

agentes xilófagos. No entanto, estes ataques podem ser resolvidos com a impregnação de inseticidas na árvore, ajudando ao borne a atingir parâmetros de qualidade para a construção.

No que toca às suas propriedades comportamentais, destacam-se duas naturezas. As propriedades de natureza física ou mecânica. As propriedades físicas mais importantes são o teor em água, a higroscopicidade, a massa volúmica aparente e a retractilidade. No que diz respeito às propriedades mecânicas, destacam-se a reação e resistência ao fogo, a resistência normal às fibras à tração e compressão, a resistência ao corte ou escorregamento, a rigidez, a fluência e a resistência à fadiga.

Uma das particularidades deste material é a inconstância espacial e temporal das suas propriedades físicas. Existe um elevado número de fatores que podem influenciar radicalmente o comportamento da madeira. Fatores como defeitos na árvore, a posição e número de nós a temperatura ambiente, etc.

No capítulo 3, este tópico será discutido em maior profundidade, assim como serão dados exemplos de sistemas construtivos. No Quadro 2.9., ficam evidenciadas algumas das vantagens e desvantagens deste material.

Quadro 2.9. – Vantagens e desvantagens do uso da madeira

Madeira	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> ❖ As estruturas em madeira poderão ser mais eficientes energeticamente, quando pensadas corretamente; ❖ Material de mais fácil manuseio; ❖ Promoção de reflorestação através de entidades como FSC e PEFC; ❖ Associado ao fenómeno de carbono biogénico. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Apresenta anisotropia de características, nomeadamente em relação à sua resistência, além de apresentar falhas e nós; ❖ A madeira se não tiver o tratamento necessário fica vulnerável ao ataque de insetos e fungos; ❖ Fraco comportamento para características de isolamento sonoro.

2.4.2. CONSTRUÇÃO EM AÇO

A tecnologia de estruturas de aço evoluiu bastante no século passado. As “steel frames”, foram empregues em algumas das mais altas e icónicas estruturas no mundo. Entre muitas destas maravilhas desafiantes da gravidade, destacam-se feitos como a torre Eiffel, com cerca de 330 metros de verticalidade, pesando mais de 10 000 toneladas. Mantêm-se erigida desde 1889, o que é bastante impressionante, quando considerando que o seu projetista apenas intendia uma duração de 20 anos, ver figura 2.6. É 1930, em tempo recorde de pouco mais de um ano e um mês, é completada o primeiro edifício com mais de 100 andares, o edifício Empire State. Desenvolvido pela equipa de arquitetos Shreve, Lamb & Harmon associados e a construtora Starrett Bros. & Eken, ver figura 2.7. No entanto, o material empregue nestas estruturas apresenta uma robustez exagerada para quando usado em construções de pequeno porte. Era um mau uso de material e um desperdício monetário. Para colmatar esta ineficiência começaram a surgir soluções cada vez mais aligeiradas. Emergiram novos perfis metálicos com inércias e formas otimizadas, podendo responder às solicitações exigidas enquanto mantinham uma redução de material e peso interessantes. A este tipo de construção com estrutura de aço galvanizado em perfis de pequena secção deu-se o nome de “Light Steel Framing, LSF” ou construção em estrutura de aço leve. Com as novas soluções de aço aligeirado, o material começou a ser mais difundido, pois conseguirá entrar no mercado da construção residencial.

Fazível do ponto económico e até apresentando algumas mais valias relativamente à construção em madeira, previamente empregue. Melhor resistência e durabilidade, constância de propriedades e preços mais estáveis. E ainda maior facilidade de reutilização. No entanto não é das soluções mais usadas no mundo nem em Portugal, como se pôde constatar na figura 2.5.

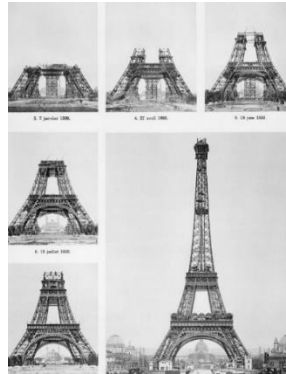


Figura 2.6. – Torre Eiffel em diferentes etapas de construção

(Figura de Bettmann Archive, 1888, From “eyesore” to icon: a brief history of the Eiffel Tower, <https://www.historyextra.com/period/victorian/brief-history-eiffel-tower-gustave-paris-when-why-built/>)



Figura 2.7.– Edifício Empire State, Nova Iorque

(Figura de Sam Valadi, 2012, Empire State Building, New York, NY.jpg, <https://www.flickr.com/photos/132084522@N05/17339180506>)

2.4.3. AÇO ALIGEIRADO

A tecnologia construtiva em estrutura de aço leve é realizada em perfis metálicos que definem um conjunto de montantes e vigas que conferem às paredes uma função resistente, análoga às estruturas resistentes de madeira. Os perfis metálicos são constituídos por uma liga metálica à base de aço de alta resistência. Esta liga é por sua vez galvanizada por imersão em zinco quente. Os perfis apresentam uma morfologia variável, tanto em espessura, que pode variar entre 0,8 e 1,5 mm para as paredes, para coberturas e vigas de piso podem atingir os 2,5 mm. Relativamente à geometria podem ter a forma de quadrados vazados, cantoneiras, perfis “T”, “U”, “Ω”, etc. A furação dos perfis também pode ser variável, assim como a separação entre as partes metálicas ou as possibilidades de ligação entre os perfis, sempre dependendo da finalidade a que se destina a estrutura e de acordo com a legislação em vigor, que se encontra contemplada nos Eurocódigos 0, 1 e 3.

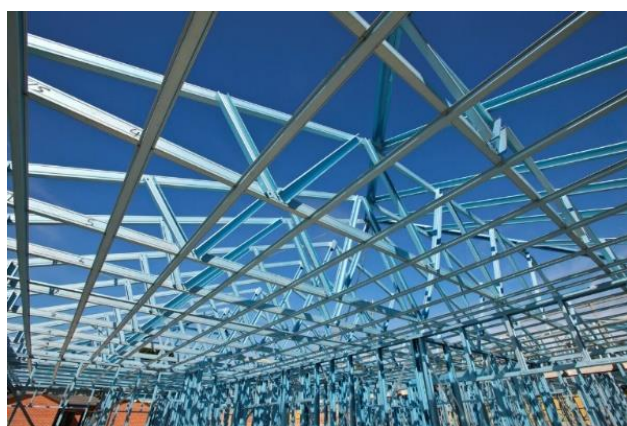


Figura 2.8. – Estrutura em aço leve galvanizado

(Figura de PDL design, 2012, Casa Frame de Aço, https://www.istockphoto.com/pt/foto/casa-frame-de-a%C3%A7o-gm177347987-21004728?utm_medium=organic&utm_source=google&utm_campaign=iptcurl)

A Figura 2.8 mostra uma estrutura em LSF, antes da aplicação dos revestimentos. De seguida são apresentadas, de forma resumida, alguns dos prós e contras passíveis de serem encontrados neste tipo de soluções construtivas.

Quadro 2.10. – Vantagens e desvantagens construção em LSF

Construção em LSF	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Resistência constante, pode ser criado de acordo com a geometria pretendida; ❖ Apresenta elevada resistência; ❖ Reciclável, sendo necessários apenas cerca de 6 veículos de sucata para conceber a estrutura metálica de uma casa; ❖ É resistente a insetos; ❖ Fácil manuseamento em transporte e obra. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Menor eficiência energética, pois é um bom condutor do calor; ❖ Pode dar origem a condensações nas paredes, bolor e mofo; ❖ Falta de experiência no seu uso no mercado geral, especialmente no português.

2.5. PRÉ-FABRICAÇÃO

A construção leve encontra-se fortemente ligada à pré-fabricação ou fabricação OFF-Site. Muitas das soluções leves em madeira ou LSF usadas atualmente no mercado são facilmente adaptáveis a este tipo de visão. Será razoável aferir tais conclusões ao entendermos que construções OFF-site beneficiam bastante ao serem constituídas por matérias leves, passíveis de serem assemblados em fábrica e posteriormente transportados para a obra. Serão mais facilmente manuseados pelos seus operadores em todos os locais de operação assim como facilitam o seu transporte que por

sua vez se traduz em maior quantidade de material transportado e menores custos associados. Dado que durante este trabalho de dissertação, o objetivo é a divulgação e estudo de soluções leves ligadas à pré-fabricação e industrialização do setor construtivo, será interessante desenvolver um pouco estes tópicos para que uma melhor visão acerca desta área possa ser conseguida. De que modo poderá a pré-fabricação contribuir para melhores soluções e mais sustentáveis, será o caminho a tomar e quais as hesitações do setor e dos utilizadores para com estas novas soluções. São apenas algumas das questões que se pretende explorar.

Neste momento, a volatilidade dos preços dos materiais e mão de obra é preocupante. Fatores como a inflação e a guerra do Leste acentuam as preocupações do setor e das sociedades. A procura por novas soluções e mais baratas, é uma demanda partilhada por cada vez mais entidades. A única maneira de quebrar este “plateau”, será tornando a construção civil mais eficiente e competitiva. Tal como foi referido anteriormente, muito à luz do que o setor automóvel foi capaz de alcançar, também o setor da construção terá de conseguir inovar ou pelo menos de o tentar tomar como exemplo. A aposta na industrialização parece ser um dos caminhos a seguir.

Podendo existir alguma confusão entre a industrialização e a pré-fabricação, em baixo encontram-se definições para melhor as esclarecer. A pré-fabricação surge a antes da sua “prima” industrialização. Já se encontra em uso mesmo nas construções tradicionais e é utilizada atualmente como um meio para melhor atingir a industrialização. Empresas como a Toyota Home, ao depararem-se com a enorme ineficiência do mercado da construção, começaram a utilizar tais ferramentas juntamente com outras como a Construção Enxuta (do inglês Lean Construction), que permite uma melhor organização da informação e dos trabalhos a seguir para o andamento de um projeto.

A industrialização, por sua vez poderá atingir-se através das seguintes etapas:

- Construção em OFF-site, num local em ambiente controlado, geralmente uma fábrica. Aumenta a produtividade dos elementos construídos e leva a uma mais rápida montagem em obra que por sua vez se traduz em trabalhos de construção mais rápidos e menos dispendiosos, um estaleiro de menores dimensões e em funcionamento durante um menor espaço temporal;
- Racionalização da construção, aumentando a produtividade de menores partes do projeto, contribuindo para o aumento da produtividade global;
- Mecanização de processos construtivos.

A pré-fabricação pode ainda ser considerada como leve ou pesada:

- Pré-fabricação pesada: normalmente peças de betão armado de grandes dimensões;
- Pré-fabricação leve: peso reduzido, estão sujeitos a pequenas operações de montagem em obra, o recurso a argamassas é baixo. LSF é um dos exemplos deste tipo de soluções.



Figura 2.9. – Construção modular, Off-site

(Figura de Getty Images/iStockphoto, 2022, The Rise of OFFSITE Construction, <https://onekeyresources.milwaukeeetool.com/en/offsite-construction>)

Alternativamente, a pré-fabricação pode ser total, no caso de todo o trabalho ser feito usando peças/componentes fabricadas em fábrica, que posteriormente são enviadas para, e assembladas no local. Ou poderá ser classificada como parcial, se partes do edifício foram pré-fabricadas enquanto outras partes foram construídas usando o método tradicional.

A pré-fabricação poderá ainda ser classificada como aberta ou fechada dependendo da ambivalência das suas peças constituintes. Se as peças foram desenhadas para poderem ser combinadas com peças de diferentes empresas, ou diferentes projetos então o sistema diz-se aberto. Caso contrário, se as peças apenas apresentarem compatibilidade para com peças desenhadas pelo mesmo fornecedor e apenas para o mesmo projeto, então neste caso o sistema diz-se fechado.

2.5.1. CONSTRUÇÃO MODULAR

Uma das grandes apostas da industrialização é a construção modular, desde empresas internacionais como a Toyota Homes a empresas nacionais como o Grupo Casais e Blufab. A a construção modular encaixa na definição de pré-fabricação, mas a escala é maior. Subsistemas menores que são agregados, não para construir paredes interiores ou caixilharias, mas sim, para construir habitações inteiras. De seguida deixo uma descrição mais sumária assim como definições de diferentes autores:

- É um processo construtivo no qual uma grande parte das atividades são realizadas, num ambiente controlado, com alto grau de mecanização;
- Grande parte do processo de assemblagem dos diferentes componentes é realizado em fábrica;
- Aplicação do conceito de modularidade;

Segundo, Arnheiter e Harren (2006), a modularidade surge como uma vantagem competitiva na indústria informática na década de 60, demonstrando ter uma grande importância no processo de desenvolvimento de produto. Embora este conceito já se encontre em uso na produção desde o início do século. Agora mais do que nunca é uma tendência forte no ramo da construção.

A modularidade é, pois, uma estratégia para a construção de parcelas mais complexas a partir de subsistemas mais simples, sendo estes desenvolvidos individualmente. O seu funcionamento é integrado, permitindo a realização de diferentes produtos através da organização de subsistemas Baldwin e Clark (1997). A modularidade pode ser usada para facilitar o projeto do sistema de

produção ou produtos (Arnheiter e Harren 2006). Nesse sentido a modularidade tem sido uma tendência crescente na indústria automobilística, devido em grande medida à complexidade dos seus produtos e à dificuldade de entreajuda com os fornecedores respetivos Baldwin e Clark (1997).

O mercado japonês, já investiu fortemente na construção modular. A customização em massa tem sido na verdade uma das suas maiores conquistas. Embora bem-sucedidas no mercado em questão, não apresentam ter uma boa propagação internacional, uma vez que as suas soluções encontram-se muito direcionadas para o seu próprio mercado e cultura. Não obstante, de seguida é exposta uma breve menção honorável a algumas empresas.

- Toyota Homes
- Sekisui Heim
- Sekisui Homes
- Daiwa
- entre outras

As figuras que se seguem pretendem melhor ilustrar algumas das soluções modulares, praticadas por diferentes empresas.



Figura 2.10. – Construção Modular 2

(Figura de Bill Abbott, 2019, Modular building Oakland CA IMG_348, <https://www.flickr.com/photos/wbaiv/48831104938>)

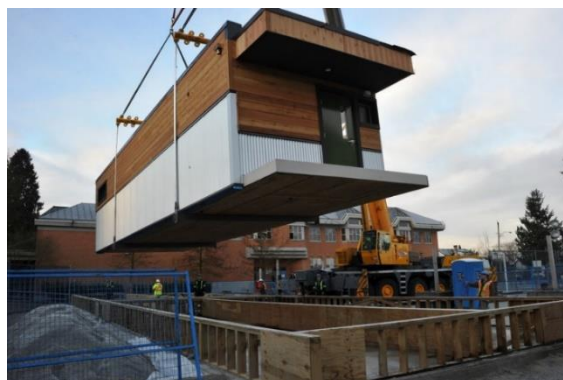


Figura 2.11. – Construção Modular 3

(Figura de Province of British Columbia, 2011, Modular classroom Delivery, <https://www.flickr.com/photos/bcgovphotos/5434156215>)



Figura 2.12. – Construção Modular 4

(Figura de Sam Holt 6, 2020, Modular housing unit in Claymont, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Modular_Housing_Unit.jpg)



Figura 2.13. – Construção Modular 5

(Figura de Riverview Homes Inc, 2008, Manufactured homes side walls are built and then lifted into place, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Manufactured_Home_Side_walls_are_built_and_attached.jpg)

Como se poderá constatar, existe uma boa diversidade de soluções. Todas as figuras são representativas de obras localizadas na América do Norte. Não será o intuito deste trabalho tentar demonstrar que a construção modular é a “panaceia” para todos os problemas que se pretendem solucionar. Será importante sublinhar que não existe uma solução perfeita e na verdade até se poderá afirmar que nunca existirá. O dever dos cidadãos, sempre que possível, deverá recair sobre a escolha por uma análise holística dos problemas que enfrentam. Nenhuma solução será perfeita, cabe às partes intervenientes pesar sempre os prós e os contras e decidir conforme as suas crenças e objetivos, qual o melhor caminho a seguir. Posto isto o quadro seguinte pretende sintetizar alguns dos benefícios que todos os fabricantes encararam com este modo de construção, assim como alguns dos entraves:

Quadro 2.11. – Vantagens e desvantagens construção modular

Construção Modular	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Aumento da eficiência: efeito da contínua aprendizagem através da constante repetição de parcelas (módulos) e processos; ❖ Redução do tempo de projeto: diminuição do tempo total das tarefas de um projeto desde a sua conceção e planeamento à sua montagem; ❖ Customização do produto: uma das estratégias para atingir a mecanização, sem aumentar o custo e prazos, substancialmente; ❖ Redução da complexidade: diminuição considerável da interdependência entre atividades, e responsabilidades repartidas entre vários agentes; ❖ Setor que encoraja a utilização de materiais geridos de forma sustentável, reforçados com certificações. Exemplo do FSC e PEFC; ❖ Apoio e sustentação a uma economia circular; ❖ Setor com grande potencial de crescimento; 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Dificuldade na coordenação entre as diferentes partes intervenientes; ❖ Estigma social, referente à qualidade construtiva; ❖ Estigma setorial, referente à resistência oferecida à mudança por um setor muito tradicional e pouco inovador; ❖ Falta de mão de obra especializada; ❖ Menor capacidade de improviso face a erros ou acidentes cometidos, especialmente em obra; ❖ Setor embrionário, pouca existência de variedade; ❖ Poucos incentivos governamentais; ❖ Necessário um rigor de construção muito maior ao que o setor se encontra acostumado.

Conforme se avança no progresso tecnológico esperam-se obter, melhores resultados e desempenho assim como uma diminuição dos custos associados ou um aumento da margem de lucro. No exemplo que se segue o autor Oliveri (1972), faz uma análise aos custos associados de uma construção tradicional, justapondo-a a uma construção concluída em pré-fabricação. Os custos são então divididos em custos fixos e os custos variáveis, sendo que os últimos serão os que representaram a diferença quantitativa dos métodos.

Para os custos invariáveis, consideraram-se os seguintes:

- revestimentos das fachadas,
- instalações
- entre outras

Para os custos variáveis, consideraram-se os seguintes:

- estrutura de betão armado
- coberturas
- isolamentos
- entre outras.

O autor chega ao fim do seu exercício e conclui que a mudança do método tradicional, partindo do pressuposto de que ambas os métodos se encontram igualmente desenvolvidos, para a pré-fabricação poderá contemplar uma redução nos custos entre 9% a 12%.

2.5.2. NORMAS EUROPEIAS

2.5.2.1. EUROCÓDIGOS

Dado que uma das preocupações dos utilizadores, com a construção modular, ser a preocupação com o nível de segurança e qualidade estrutural dos mesmos, deixa-se uma nota acerca deste tópico. Existe uma série de normas, criadas para manter os parâmetros de qualidade estrutural. Estas normas são chamadas de Eurocódigos estruturais. O programa responsável pela sua criação, terminou esta tarefa em 2007, tendo escrito 58 normas europeias. No Quadro 2.12., está contemplada a identificação das ditas normas, assim como uma breve descrição do intuito de cada uma. Será importante referir que o número associado às normas europeias nada tem que ver com o ano em que o documento foi publicado. A numeração atribuída, apenas serve como indicador da norma, não tendo mais nenhuma informação a si associada. A atribuição dos nomes foi feita pelo CEN – Comité Europeu de Normalização.

Quadro 2.12. – Lista de Eurocódigos Europeus

Norma europeia	Eurocódigo	Número de partes
EN 1990	Eurocódigo de bases para projeto de estruturas	1
EN 1991	Eurocódigo 1: ações em estruturas	10
EN 1992	Eurocódigo 2: projeto de estruturas de betão	4
EN 1993	Eurocódigo 3: projeto de estruturas de aço	20
EN 1994	Eurocódigo 4: projeto de estruturas mistas aço-betão	3
EN 1995	Eurocódigo 5: projeto de estruturas de madeira	3
EN 1996	Eurocódigo 6: projeto de estruturas de alvenaria	4
EN 1997	Eurocódigo 7: projeto geotécnico	2
EN 1998	Eurocódigo 8: projeto de estruturas para resistência aos sismos	6
EN 1999	Eurocódigo 9: projeto de estruturas de alumínio	5

Através da leitura do Quadro 2.12., poderá ser constatado que quatro dos Eurocódigos dizem respeito a qualquer projeto. Fará parte deste grupo o Eurocódigo referente às bases para projeto, muitas vezes chamado de Eurocódigo 0, e os Eurocódigos 1,7 e 8.

Com isto, pretende-se deixar claro, que a falta de regulamentação e procedimentos de segurança a seguir para construções, designadamente as leves, não são entraves para a pré-fabricação.

2.5.2.2. ENQUADRAMENTO NACIONAL

A entidade encarregue da normalização e seguimento de estratégias de projeto em conformidade com os Eurocódigos, ao nível nacional, é o LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Uma organização que desde sempre, esteve ligada à conceção dos Eurocódigos. Desde a adesão de Portugal às Comunidades Europeias, em 1986, que se estipulou como presença assídua no Comité Orientador, no Grupo de Coordenação e nos painéis redatoriais. Toda esta envolvimento será em muito devida ao Eng.º Ferry Borges, uma referência a nível mundial em áreas cobertas pelos Eurocódigos tais como, a segurança estrutural, betão armado, betão pré-esforçado e a engenharia sísmica.

Todos estes documentos foram formulados para poderem ser articulados entre si. As normas europeias, que formam os Eurocódigos estão em sintonia. Tal como descrito no website (LNEC 2022): “A título de exemplo, refere-se que, em Portugal, o projeto de uma estrutura de um edifício de betão armado necessitará, em princípio, da utilização das matérias relevantes incluídas nas versões nacionais das EN 1992-1-1 e EN 1992-1-2 (relativas às estruturas de betão), mas também da EN 1990 (relativa às bases de projeto), das EN 1991-1-1 a EN 1991-1-5 (relativas às ações em estruturas), da EN 1997-1 (relativa ao projeto geotécnico) e, finalmente, das EN 1998-1 e EN 1998-5 (relativas ao projeto de estruturas para resistência aos sismos).”

3

Madeira e a evolução da sua utilização na construção

3.1. MADEIRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

As origens da utilização deste material remontam, no mínimo, há milhares de anos. Muito anterior ao estabelecimento da nossa espécie enquanto Homo Sapiens. A facilidade de manuseamento inerente a este material, permitiu que fosse usado de inúmeras formas. Desde ferramentas para o quotidiano, a armas de caça e até como material de construção.

No entanto, será importante referir, que como tudo na vida, se encontram associadas a este material vantagens e desvantagens. Caberá ao seu operador identificar o contexto onde pretende intervir para ponderar a sua melhor inserção. A sua rapidez de execução e montagem, são uns dos seus grandes pontos fortes. Dado que permite reduzir o tempo de construção e aumentar a eficiência do projeto, baixando os custos. Também permite uma redução do tempo, na medida em que não será necessário aguardar que o material cure efetivamente, como acontece com o betão. Após a sua montagem, o estágio encontra-se finalizado podendo prosseguir-se imediatamente para as fases seguintes.

Não obstante todas as qualidades mencionadas, também é necessário aceitar as suas debilidades. Apresenta-se naturalmente como um material heterogéneo e anisotrópico, o que leva a ter em consideração diferentes tipos de resposta ao longo do seu comprimento e orientação sob a qual as suas fibras serão solicitadas. É vulnerável ao ambiente a que é exposto, nomeadamente à humidade e também sensível a ataques de fungos e insetos, que podem comprometer seriamente a sua estabilidade e duração.

Neste capítulo mostrar-se-ão algumas das propriedades da madeira, alguns exemplos de árvores aptas para fornecerem madeira estrutural, presentes no território português assim como alguns exemplos de construções em madeira.

3.2. PROPRIEDADES MADEIRA

Para ser feita uma escolha informada será necessário aprofundar ligeiramente as propriedades da madeira, na perspetiva de material de construção. É um material de origem orgânica, composto essencialmente por fibras de celulose e hemicelulose conectadas por lenhina. É um material higroscópico, ou seja, apresenta a capacidade de absorver a humidade e anisotrópico, uma vez que as suas propriedades variam consoante a direção a solicitar. Quimicamente, apresenta na sua maioria duas substâncias, a celulose e a lenhina que perfazem 97% da sua composição. Gauzin-Müller (1990) afirma que a madeira também possui carbono na sua constituição, no entanto esta substância apenas é libertada aquando de combustão ou putrefação do material. As propriedades físicas variam de espécie para espécie, daí nem todas se apresentarem úteis para a construção. Os próximos subcapítulos apresentarão informação relativa à sua resistência mecânica, comportamento físico e químico.

3.2.1. COMPORTAMENTO MECÂNICO

Mais uma vez Gauzin-Müller (1990) pronuncia-se relativamente ao comportamento físico, declara que as propriedades mecânicas da madeira também dependem de fatores como direção das fibras, da densidade, do nível de humidade e da duração do carregamento aplicado, seja ele por massas adicionais ou através do peso próprio. Esta matéria-prima oferece maior resistência na direção das fibras e quanto maior for sua densidade. A humidade relativa, afeta o comportamento mecânico do material, uma vez que a resistência diminui com o aumento do teor de humidade. A duração da carga também afeta o comportamento do material.

Além das propriedades físicas e mecânicas que variam entre os tipos de madeira, é igualmente importante considerar os fatores naturais e tecnológicos que influenciam as propriedades da madeira. Os fatores tecnológicos dizem respeito à análise da distribuição das tensões internas na peça, que variam de acordo com a forma e dimensões da peça e a resposta anisotrópica do material devido à sua estrutura fibrosa. Devido aos fatores naturais, deve atentar-se aos defeitos internos do tronco, como nós, fendas e fibras retorcidas. Estes defeitos podem causar discrepâncias significativas no comportamento físico e mecânico da madeira, dependendo de sua localização e tamanho. É um dado muito importante, especialmente, se a peça em questão for utilizada como peça estrutural. A massa volumica do material é outro fator que permite determinar o grau de distribuição e concentração de material resistente, presente na madeira. Sendo um material composto por fibras de celulose hidrófilas, a humidade é um fator natural a ter em conta, assim como o nível de humidade tem grande influência nas propriedades deste material. A madeira atinge a sua resistência máxima quando completamente seca. Assim, estabeleceu-se como valor a considerar, 15% para o teor de humidade, valor semelhante à humidade relativa do ar. Por fim, Domone (2010) indica que para além dos fatores supramencionados, também deve ser tido em consideração as propriedades botânicas da espécie de árvore em questão, uma vez que a estrutura e composição do tecido lenhoso, específico de cada espécie, são os principais determinantes das propriedades mecânicas que essa madeira irá exibir.

3.2.2. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Em relação à condutividade, a madeira é um isolante quando seca e, inversamente, torna-se num bom condutor quando molhada. Embora o valor varie com as espécies, a densidade e a direção das fibras, a resistência elétrica específica diminui à medida que a humidade aumenta.

3.2.2. RETRATILIDADE E DUREZA

Segundo Herzog (2004), a retratilidade refere-se à perda de volume que ocorre como resultado da perda de humidade na madeira. Como se trata de um material anisotrópico, as repercussões irão variar com a direção das fibras. Deverão ser utilizados processos para reduzir o encolhimento deste material, tais como impermeabilizações ou envernizamentos. Relativamente à dureza, descreve esta como sendo a resistência que um material oferece ao ser perfurado. No caso da madeira, não será muito elevada, mas por essa razão mesmo, é que se torna em um material facilmente trabalhável.

3.2.2 INFLAMABILIDADE

A madeira iniciará a combustão quando, aproximadamente se atingir a temperatura de 275 °C. Se este valor não for ultrapassado, criar-se-á uma camada de carvão com cerca de 1cm de espessura que servirá como capa protetora para o resto da peça, uma vez que numa fase inicial do processo de combustão, a área afetada é apenas superficial.

Para espessuras inferiores a 2,5cm, é necessário submeter a peça a um tratamento antifogo. De acordo com Domone (2010), ao contrário de crenças comuns, mesmo com a camada superficial queimada, a madeira é capaz de sustentar as suas características mecânicas até aos 1000-1100 °C, em oposição ao aço, que a partir dos 200-300 °C começa a comprometer as suas propriedades mecânicas.

3.2.2 DILATAÇÃO E CONDUTIVIDADE TÉRMICA

De acordo com Gauzin-Müller (1990), todos os materiais tendem a expandir quando aquecidos, no entanto, a expansão térmica da madeira é contrariada pela retração oposta devido à perda de humidade em decorrência do aumento da temperatura. A variação volumétrica da madeira sob a influência do calor é cerca de um terço da do betão ou aço. Apresenta uma condutividade térmica relativamente baixa, aproximadamente 10 vezes menor que o betão e 250 vezes menor que o aço, dependendo da espécie e da densidade, Quadro 3.1.

Gauzin-Müller (1990), no seu trabalho apresenta um exemplo onde se pode comparar a diferença de espessura exigida por duas soluções construtivas distintas. A primeira constituída por uma parede dupla de madeira de 3+3cm de espessura, intermediada por uma caixa de ar de 4cm. Nesta solução obtém-se um coeficiente de transmissão térmica (k) de $k=0,98 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Quando comparada com a segunda solução em alvenaria, para atingir um valor semelhante ($k=0,97 \text{ W/m}^\circ\text{C}$), é necessária uma parede dupla de alvenaria com 11+11cm de espessura com uma caixa de ar de 4cm. Este exemplo serve para mostrar, que apenas mudando o material, se consegue reduzir a espessura da parede em 16cm para o mesmo coeficiente de transmissão térmico.

Quadro 3.1. – Condutividade térmica madeiras, Gauzin-Müller (1990)

Designação	Condutividade Térmica (W/ m °C)	Massa Volúmica (kg/m ³)
Madeiras Coníferas Abeto, Espruce	0,12	350 a 450
Madeiras Macias Pinheiro Silvestre, Pinheiro Bravo	0,15	450 a 550
Madeiras Médias/Pesadas Carvalho, Freixo, Faia	0,23	600 a 750

No Quadro 3.2., são deixadas mais algumas informações relativas a materiais usualmente utilizados na construção para que seja possível comparar com os valores do Quadro 3.1.

Quadro 3.2. – Condutividade térmica materiais típicos construção, Gauzin-Müller (1990)

Designação	Condutividade Térmica W/m °C	Massa Volúmica kg/m ³
Painel de partículas (22cm)	0,14	500 a 600
Painel de contraplacado	0,15	450 a 550

Isolamento térmico (fibras minerais)	0,04	20 a 300
Betão	1,75	2400
Aço	50	7800

3.2.2 ACÚSTICA

Segundo Herzog (2004), devemos ter em consideração duas formas de propagação do som, quando se fala em acústica: meio aéreo e percussão. O ruído do aéreo é originário de vibrações diretas do ar. A fala e a música são exemplos deste tipo de transmissão de som. Como o nome sugere, os sons de percussão são originários da vibração de meios sólidos, como paredes e pisos. Exemplos deste tipo de som incluem o bater, andar e o deslocamento de móveis. Esta é a forma de propagação mais eficiente do som, dado que quanto mais denso for o meio, em que o som se propaga melhor será a sua transmissão. Daí a imagem clássica nos filmes do faroeste, de pessoas a colocarem o ouvido nos carris de metal para tentarem perceber se se aproximava ou não a locomotiva. No Quadro 3.3., encontram-se explicitadas algumas velocidades de propagação em diferentes materiais.

Quadro 3.3– Velocidade de propagação do som em diferentes materiais
(Imperialum - Sociedade Comercial de Revestimentos e Impermeabilizações SA)

Material	Velocidade (m/s)
Borracha	54
Ar	340
Água	1460
Madeira	1000 a 4900
Cimento	4000
Aço	4700 a 5150
Vidro	5000 a 6000
Granito	6000

3.3. MADEIRA EM PORTUGAL

De acordo com Silva (2014), persiste em Portugal uma tendência para cultivar espécies de rápido crescimento para fins específicos de produção de madeira em detrimento de uma visão polivalente de médio a longo prazo. O terreno florestal português apresenta condições favoráveis para o uso do mesmo, no entanto é pouco valorizado. Desta forma, e de acordo com a situação atual das florestas em Portugal, destacam-se as espécies que melhor se enquadram às necessidades de construção e cujo volume de produção permite o seu sustentamento. Atualmente, existem várias questões relacionadas com o processo de desenvolvimento florestal do território português, sendo a seleção de espécies arbóreas para reflorestamento de territórios e a conversão de pousio agrícola em áreas florestais as mais polémicas. Relativamente à seleção de espécies para reflorestação, a

principal questão é aumentar a produção de eucalipto para a indústria do papel ou restaurar as florestas com espécies autóctones típicas da nossa região. As recentes catástrofes no território português na sequência de incêndios florestais podem levar a esforços para um maior controlo na plantação de espécies que têm efeitos prejudiciais na biodiversidade remanescente. A área erodida de pinheiro-bravo, castanheiro, carvalho, entre outras tem sido bastante reduzida ao longo dos anos.

Silva (2014) também aponta a dificuldade de transmitir informação acerca do potencial florestal aos proprietários, dado que cerca de 85% da área florestal é propriedade privada, o que torna muito difícil encontrar soluções e implementar ideias, a nível nacional.

O aproveitamento das áreas florestais em Portugal exige mudanças no paradigma da política e da gestão florestal, e mesmo assim serão necessários muitos anos até serem observadas as consequências dessas mudanças, afirma Negrão (2011).

O eucalipto é uma espécie invasora conhecida por prejudicar o crescimento das outras espécies, apresenta-se como espécie dominante no território do país devido ao seu rápido crescimento e rentabilidade associada, principalmente à indústria de pasta de papel. Considerando a sua grande utilização para as celuloses, o uso de eucalipto na construção é improvável, no entanto não deverá ser descartado, assim tão facilmente. Existem estudos de viabilidade a serem conduzidos, para averiguar a sua utilização em painéis de madeira laminada cruzada (do inglês Cross Laminated Timber – CLT). Sendo o eucalipto principalmente utilizado na indústria da pasta de papel, também o sobreiro é uma espécie substancialmente reservada para a produção de cortiça, encontrando-se sob proteção legal associada ao sistema de cultivo em que se insere, o montado. Em última análise, restam três espécies de árvores com propriedades que poderiam atender às necessidades do setor da construção. Seriam então, o pinheiro-bravo, o castanheiro e o carvalho.

3.3.1 CONSTITUIÇÃO ELEMENTAR DAS ÁRVORES

Para a utilização como material de construção, apenas tem interesse o tronco da árvore como zona útil. Assim sendo, é importante identificar as partes que o constituem e quais delas apresentam qualidades necessárias à prática da construção.

A camada que envolve o tronco é chamada de casca. A sua função maioritária é a de proteção do lenho, que por sua vez se define, como um conjunto de células lenhosas responsáveis por funções de transporte de líquidos seivosos, suporte estrutural, armazenamento de reservas orgânicas, de atividade metabólica ou de secreção. A casca não é utilizada como material de construção, sendo quase sempre rejeitada. Após a remoção da camada mais exterior ter-se-á acesso ao lenho, onde é possível observar os chamados anéis de crescimento. Na maioria das espécies podemos identificar duas zonas distintas no lenho, o borne e o cerne, ver figura 3.1.

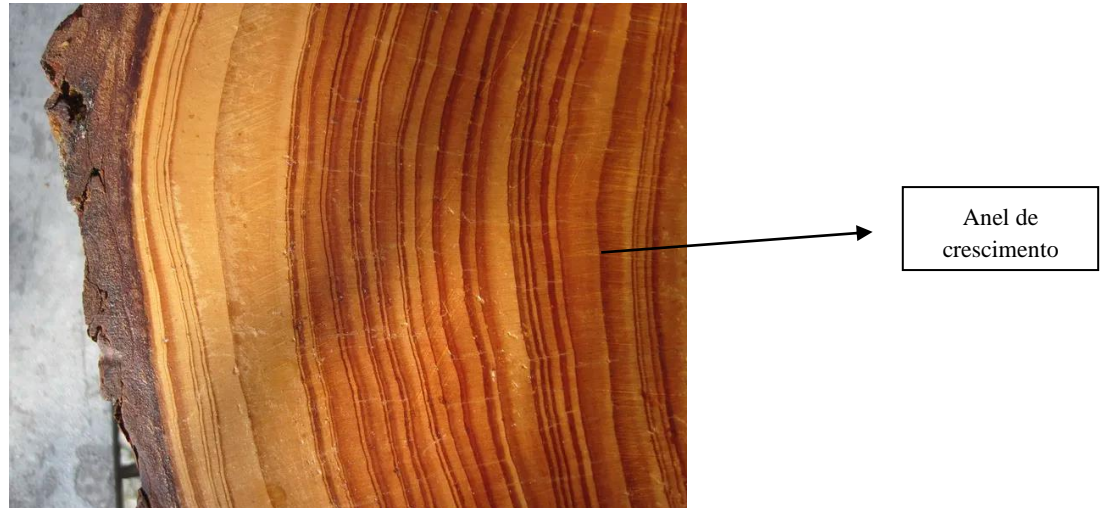


Figura 3.1. – Anéis árvore
(Figura de rawpixel.com, Tree Ring,
https://www.rawpixel.com/search/tree%20ring?page=1&sort=curated&topic_group=topics)

O borne é a camada mais externa do lenho, a camada mais clara, ver figura 3.1. É a zona viva e, por conseguinte, a mais suscetível a ataques de parasitas, quando se faz o abate da árvore. Ocasionalmente, surgem deformações nos anéis de crescimento derivados de paragens no crescimento. Estas discrepâncias influenciam o comportamento da madeira como material resistente. O cerne é a camada com maior densidade e com o tom mais escurecido, observar figura 3.1. É a parte constituinte da árvore, com maior resistência mecânica e com a maior durabilidade. Infelizmente o cerne apenas constitui cerca de 25% a 50% da dimensão total do lenho. A sua utilização exclusiva, levaria a um grande desperdício de matéria-prima. Segundo as suas classes de resistência as árvores poderão ser maioritariamente divididas em resinosas pertencentes à ordem das coníferas ou em folhosas. Diferem entre si na sua arborescência e na sua estrutura interna, o lenho. As resinosas possuem folhas lineares, ver fig. 3.2., folhas aciculares, ver fig. 3.3., ou folhas escamiformes, ver fig. 3.4. No caso das árvores folhosas, normalmente possuem folhas largas e planas, Silva (2014).



Figura 3.2. – Folhas Lineares, Bastos (2019)



Figura 3.3. – Folhas aciculares, Bastos (2019)



Figura 3.4.– Folhas escamiformes, Bastos (2019)

3.3.1 PINHEIRO-BRAVO

O pinheiro-bravo, também conhecido por *PINUS PINASTER AITON* do latim, tem sido plantado principalmente, em Portugal, em áreas pouco férteis e cadeias montanhosas no norte e centro do país, Correia & Oliveira (2003).

É uma espécie que pode atingir entre 25 a 40m de altura, sendo que o seu fuste representa, cerca de dois terços da mesma. O seu diâmetro encontra-se próximo de um intervalo de 30 a 60cm. É de rápido crescimento nos primeiros anos e apresenta uma longevidade de 100 a 120 anos.

O seu borne exprime-se com uma área transversal não muito elevada. Particularmente em árvores jovens e na região superior da mesma. Apresenta características que o permitem ser facilmente manuseado, em trabalhos de carpintaria manual ou mecânica, desde que adequadamente seco e que não possua muitos defeitos. Facilmente colado, adere bem a pregos e parafusos e proporciona acabamentos de qualidade. Os toros com características adequadas, podem fornecer folhas para contraplacados ou folheados, Gomes (2015).

Ao considerar os volumes de produção e as características exigidas aos materiais estruturais, o pinheiro-bravo é única opção adequada ao setor da construção civil. Como todos os materiais, o

seu comportamento está em muito condicionado pelos seus defeitos. Nós, a inclinação do fio, acumulações de resina ou casca inclusa alguns exemplos passíveis de serem observados nas árvores. O método mais célere de classificação das peças de madeira, é a observação direta procurando a posição e quantidade de nós. A sua gênese está ligada ao crescimento dos ramos. O efeito nocivo para a resistência da madeira, deve-se ao facto de estes serem compostos por fibras cuja direção é sensivelmente ortogonal à direção dominante do tronco. Assim sendo, pouco contribuem para a resistência do mesmo e quanto maior for a proximidade entre nós, mais comprometida ficará a resposta da peça de madeira.

A presença de fendas ou rachadelas é mais um ponto a verificar nos toros. Como será fácil de entender, tais descontinuidades podem comprometer gravemente a resistência da peça.

No 6º Inventário Florestal Nacional (IFN), ficou registado que esta espécie se mantém como a resinosa autóctone com maior representatividade em Portugal. No entanto, entre 1995 e 2010 registou-se um decréscimo de 263 mil ha na área total do pinheiro-bravo, face a um aumento na área de eucalipto na ordem dos 95 mil ha, Quadro 3.4.

Quadro 3.4. – Árvores com maior expressão nacional em 2015, (IFN 6)

Espécie	Área Florestal [mil ha]	Área florestal [%]
Eucalipto	812	25,4
Sobreiro	737	23
Pinheiro Bravo	714	22,3
Total	2263	70,7



Figura 3.5. – Pinheiro-Bravo, Bastos (2019)

3.3.1 CASTANHEIRO

O castanheiro, *CASTANEA MILLI* do latim é uma árvore de folhas caducas com alturas a rondar os 20 a 30m. Apresenta um tronco espesso e liso na primeira década de vida, vindo mais tarde a fendilhar, ver figura 3.6. O cerne neste tipo de árvore é abundante, de cor rosada ou acastanhada, muito facilmente distinguível do borne, cor branca-amarelada. É um material de fácil serragem e secagem lenta, sem grandes defeitos, Correia & Oliveira (2003). Será então, necessário proteger os pregos e parafusos contra a corrosão. Apresenta uma grande capacidade de resistir a ataques de insetos e fungos. Produz folheados de boa qualidade, Silva (2014).



Figura 3.6. – Castanheiro, Bastos (2019)

3.3.1 CARVALHO

Esta espécie apresenta várias subespécies, assim sendo destacam-se duas: o carvalho alvarinho, *QUERCUS RÓBUR L.*, e o carvalho americano *QUERCUS RUBRA L.*

Primeiramente, o carvalho alvarinho, esta espécie de grande porte e crescimento lento crescerá até 40 a 45m de altura e exibirá um diâmetro potencial de 1 a 1,5m. O seu lenho é de grande qualidade, com um cerne castanho-escuro e um borne com uma cor clara, Correia & Oliveira (2003). Tal como a espécie anterior, é de secagem lenta e requer cuidado. Apesar de ser um material duro, é de fácil manuseamento sendo uma das madeiras mais preciosas para a carpintaria, Silva (2014).

Em segundo lugar, o carvalho americano, uma espécie de crescimento rápido, mais veloz que a maior parte das restantes folhosas. O seu cerne é castanho-escuro e o seu borne é amarelo-acastanhado. À semelhança do carvalho alvarinho, também é de fácil serração. A sua secagem é demorada e difícil. A resistência ao ataque de insetos é fraca, assim sendo apresenta uma durabilidade média.



Figura 3.7. – Folhas carvalho

Foto de Pixabay, 2016, Oak, <https://www.stockvault.net/photo/198743/oak>



Figura 3.8. – Carvalho, Bastos (2019)

3.4. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS EM MADEIRA - EVOLUÇÃO

Tal como tem vindo a ser mostrado durante este trabalho de dissertação, a utilização de madeira como solução construtiva não é algo novo, mas também não é por essa razão que se trata de uma visão do passado. Esteve sempre na presença do ser humano, desde a altura em que os nossos antepassados começaram a empunhar ferramentas – *Homo Habilis* - até ao presente. No entanto à medida que as civilizações evoluíram, também o uso deste material evoluiu.

Durante a idade média, assistiu-se a uma importante diferenciação tecnológica, dado que nesta altura se deu um desenvolvimento de técnicas de carpintaria e serragem. Sistemas como casas de troncos são substituídos por peças esquadriadas, o que levou a uma maior qualidade de construção, gerando estruturas mais estáveis e estanques.

No fim deste período mais sistemas de construção se encontravam como rivais dos edifícios de madeira. A evolução das técnicas e ferramentas levava uma maior panóplia de escolha de materiais de construção. No entanto a utilizações de madeira mantem-se firme até meados do século XVIII.

Posteriormente, durante a revolução industrial, novos materiais começam a ser desenvolvidos e aperfeiçoados. O aço torna-se progressivamente mais forte e viável, mostrava-se como um material inovador e capaz de suportar cargas muito superiores, dando azo à imaginação daqueles que ambicionavam construir cada vez mais alto. Mais tarde, surge também o betão, fornecendo uma vez mais, novas possibilidades construtivas. Não obstante esta rápida e drástica evolução, principalmente em solo europeu, na América, também em consequência da guerra e do rápido crescimento populacional, nasce a necessidade de construção rápida e barata. O wood-frame é então idealizado.

Mas os contributos para a evolução do conhecimento do manuseamento deste material, não se cingem à cultura ocidental. Tanto no Japão como na China houve desde muito cedo o investimento nesta área. Desde 3500 – 300 a.C. que a madeira se manteve como o principal material para a construção no Japão. Um dos exemplos da construção tradicional japonesa, que antecede a influência chinesa é o caso do santuário de Ise, construído em 692 d.C., Herzog (2004). O santuário é composto por inúmeras construções religiosas, com um significado muito profundo para os japoneses, especialmente para o xintoísmo. A cada 20 anos, todos os edifícios são completamente reconstruídos, passando assim o conhecimento entre gerações. Este processo é conhecido como “Shikinen Sengu”



Figura 3.9. – Bingogokoku-jinja
(Figura de 663highland, 2006, Bingogokoku-jinja01s2040,
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bingogokoku-jinja01s2040.jpg>)

O paradigma chinês é também, considerada como de grande relevância para o desenvolvimento deste sistema de construção. Segundo Herzog (2004), a cada nova dinastia eram destruídos palácios e vilas da sucedida, salvo algumas exceções e infelizmente, por essa razão não existem muitos exemplos deste tipo de construção. No entanto, exemplos como o pagode em Yingxian mantiveram-se erguidos e resistentes à passagem dos tempos, figura 3.10. É o pagode, construído em madeira, mais antigo da China. Foi completado no ano de 1056, veja-se que este edifício é quase 100 anos mais antigo que Portugal. Ergue-se a uma altura de 67,31m, sendo assim o mais alto do género no mundo inteiro, Hinsbergh (2018), na sua construção não foram usados nem pregos nem parafusos, sendo completamente realizado em madeira.

Também na Europa, mais precisamente na Roménia, é possível encontrar exemplos marcantes deste tipo de construção. Como é o caso da Igreja dos Santos Arcanjos, construída em 1633. Em dezembro de 1999, tornou-se um património Mundial da UNESCO, figura 3.11.

O legado deixado por estas obras comprova capacidade do material para a construção, inclusivamente para a construção em altura. O desenvolvimento deste tipo de sistemas construtivos, encontra-se muito mais enraizado no contexto internacional do que no contexto nacional. Portanto, para uma breve abordagem histórica, mostrar-se-ão os sistemas construtivos "Log Houses", "Balloon Frame" e o "Platform Frame". No contexto nacional destacam-se a Baixa Pombalina e a Casa Burguesa do Porto. Estes métodos viriam a servir como base para sistemas mais evoluídos, usados e explorados nos dias de hoje.

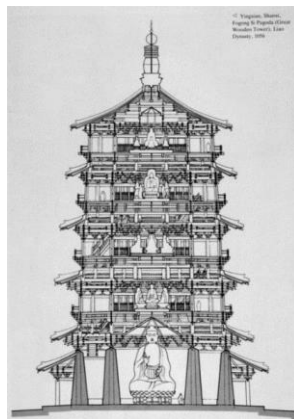


Figura 3.10. – Pagode Yingxian, Bastos (2019)

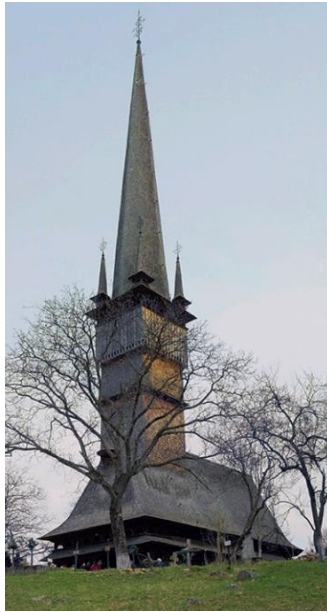


Figura 3.11 – Igreja dos Santos Arcanjos, Roménia, Bastos (2019)

3.4.1 LOG HOUSE

A construção com toros maciços é uma das técnicas mais antigas na construção de edifícios. Este sistema de construção baseia-se no empilhamento de troncos cujas ligações cruzadas nas extremidades garantem a estabilidade da estrutura, enquanto fecham o espaço, Silva (2014).

Contudo, esta solução não é capaz de responder às exigências atuais de conforto. Devido às características anisotrópicas da madeira, surgem rachas entre os toros, devido à dilatação do material. Com o avanço nas técnicas de corte, os toros começaram a ser mais bem trabalhados, cortando assim juntas mais eficazes entre as peças e nas uniões entre paredes.

Os requisitos de conforto, cada vez mais exigentes, requerem a aplicação de isolamentos. A melhor alternativa é montar o isolamento pelo exterior, contudo, ao aplicar esta técnica perde-se um pouco da essência inerente a estas soluções. Então, para preservar da melhor maneira possível, este espírito surge uma segunda parede, para servir de cobertura ao isolamento, que é aplicado entre as mesmas, Jesus (2013).

As “log houses”, ainda hoje são usadas e construídas. Representam, pois, uma ligação forte entre os seus habitantes e a cultura económica e social das zonas onde coexistem. Nem sempre as soluções escolhidas pelas pessoas são as mais confortáveis, pois a memória e a preservação de uma identidade também pesam quando é necessário optar pelo lugar a que iremos chamar de lar.

Além da grande quantidade de material a ser utilizado, este sistema construtivo também exige uma criteriosa seleção da madeira e um amplo conhecimento por parte dos carpinteiros ver figura 3.12.



Figura 3.12. – Log House, Bastos (2019)

3.4.2 BALLOON FRAME

Partilhando a mesma região que o método construtivo anterior, o “Balloon Frame” fora desenvolvido nos Estados Unidos da América, uma vez mais como resposta à necessidade de soluções rápidas e de custo reduzido, Silva (2014).

Construído inteiramente, com peças de dimensões fixas e juntas estandardizadas são dos primeiros passos em direção à industrialização. Com prumos de 5x10cm e vigas 5x20cm, a edificação é completada montando todas as peças da habitação como se de um lego se tratasse, figura 3.13. Nesta solução todos os elementos desempenham uma função estrutural.

No entanto este método construtivo, exige peças de grandes dimensões que são de difícil obtenção e montagem. Por sua vez, tais peças levam a problemas de transmissão acústica e segurança contra incêndios. Para dar resposta a estes entraves, surge o “Platform Frame”

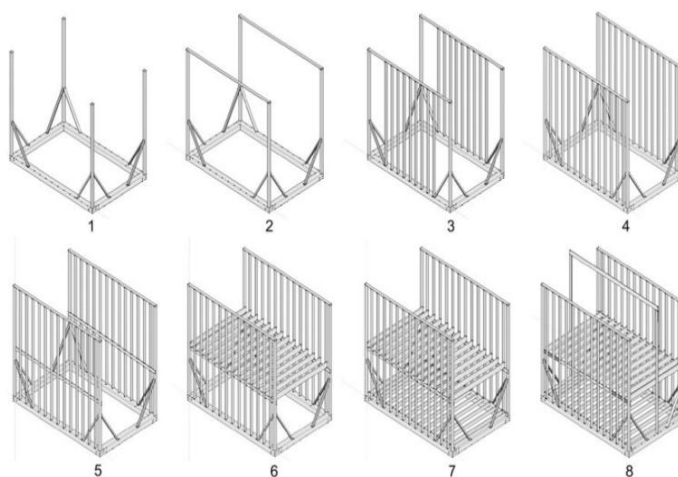


Figura 3.13. – Etapas construtivas Balloon Frame, Bastos (2019)

3.4.3 PLATFORM FRAME

Guiada pela necessidade de utilizar peças de menor dimensão, a “Balloon Frame” evoluiu para a “Platform Frame”. Desconsiderou-se a continuidade dos elementos verticais que acompanhavam toda a altura do edifício, criando a possibilidade, a este novo sistema de construir mais pisos sem depender do tamanho das peças. A construção em madeira fica cada vez mais próxima da pré-fabricação, figura 3.14.

As paredes desempenham a função de suportar os revestimentos e também as cargas verticais dos pisos acima. São revestidas com tábuas, e posteriormente por placas de derivados de madeira como o OSB (do inglês Oriented Strand Board), MDF (do inglês Medium Density Fiberboard), entre outros, para resistir às ações horizontais (Silva 2014).

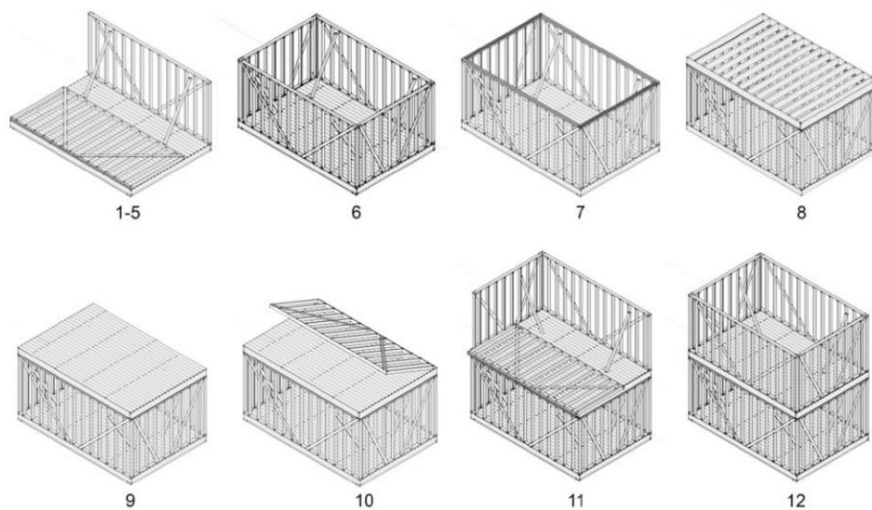


Figura 3.14 – Etapas construtivas Platform Frame, Bastos (2019)

3.4.4 EDIFÍCIO POMBALINO

“O plano para a reconstrução da baixa de Lisboa, desenhado por Eugénio dos Santos e que fora aprovado por Marquês de Pombal consiste numa malha regular e simples de ruas que garantem a dinamização do conjunto e que vêm responder à necessidade em alojar rapidamente um elevado número de pessoas e reconstruir a cidade o mais rapidamente possível. Na base do desenho do plano estão princípios de ordem, economia e urgência. Para além da normalização das plantas e dos alçados, era necessário criar um sistema de produção em série capaz de dar resposta ao programa da construção” Bastos (2019,39).

Na opinião de José-Augusto França (1989), a construção das novas habitações, obrigava a uma organização fulcral para a realização efetiva da empresa. Impuseram tal ordem e sistematização, através de elementos normalizados. As exigências de economia e urgência são a impressão digital destas construções, permitindo uma produção em série em estaleiros montadas para o efeito, nas proximidades das obras ou distantes das mesmas.

A solução projetada em madeira, que surge neste contexto é conhecida por gaiola pombalina, apresenta ainda, resistência aos sismos e incêndios, figura 3.15. É composta por um conjunto de elementos verticais – os prumos – por um conjunto de elementos horizontais – os travessãos – e por elementos diagonais que formam várias interseções em forma de X, conhecidas por cruces de Santo André, Mascarenhas (2004). Os seus criadores optaram por esta forma geométrica, uma vez que os triângulos apresentam uma resistência inata às deformações, graças à sua

disposição. Segundo Mascarenhas (2004), o sistema em si não é original, mas sim a sua utilização em massa acompanhadas de uma preocupação com rapidez de construção e segurança.

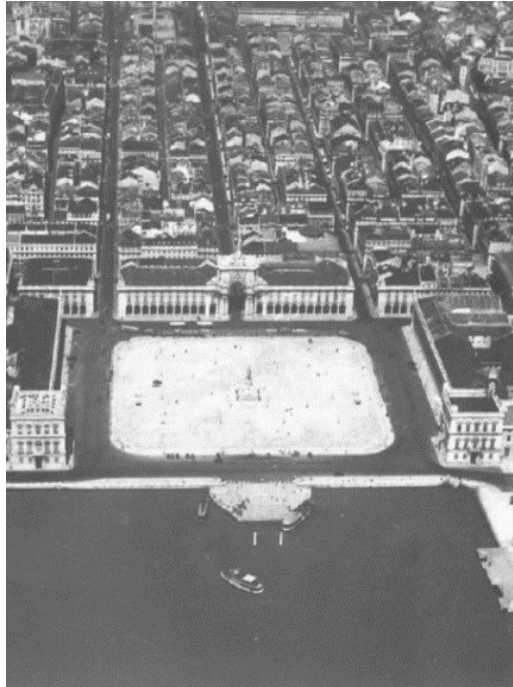


Figura 3.15. – Baixa Pombalina, França (1989)



Figura 3.16. – Estrutura Gaiola Pombalina, Lopes (2012)

Não obstante a importância da gaiola para o edifício pombalino, também é de referir que não se trata da única estrutura em madeira da habitação. As próprias fundações eram realizadas em madeira de pinho verde. Sendo que a madeira proveniente dessa árvore era das mais utilizadas uma vez que, se enterrada e protegida da luz solar, apresenta boa durabilidade e constância de propriedades estruturais. Em adição às fundações, também a madeira servia de matéria-prima à construção da estrutura de cada piso, escadas e até coberturas.

Graças a esta inovadora tecnologia, os edifícios ficavam dotados de uma excelente resistência sísmica, possível de se alcançar devido às propriedades elásticas do material.

Por detrás da beleza exterior e adequação funcional, estas construções escondiam uma inovação tecnológica simples e elegante. Um sistema antissísmico em madeira, provavelmente dos mais, senão mesmo o mais avançado do século XVIII, Tobriner (2004).

Segundo França (1989) e Tobriner (2004), a “Gaiola Pombalina” e o sistema “Balloon Frame”, assemelham-se na medida em que ambos advêm da pré-fabricação dos seus elementos constituintes. A utilização em série e repetitividade dos processos construtivos é partilhada por estes dois métodos. No entanto, enquanto o processo americano é totalmente constituído por elementos dito leves, a “Gaiola Pombalina”, é envolta em alvenaria o que a torna numa estrutura em madeira, pesada. A baixa de Lisboa, viu em si a introdução dos conceitos de sistematização e pré-fabricação na construção civil. Servindo assim de arquétipo à nova onda de construção que estaria para surgir em Portugal.

3.4.5 CASA BURGUESA PORTO

No norte do país, utilizava-se bastante a madeira como material de construção. A construção típica, deste género, era constituída por um piso térreo em pedra, seguido dos pisos realizados em tabique – estrutura em madeira, composta por prumos, barrote e tabuas, ver figura 3.17. Para Oliveira & Galhano (1992), o tabique assemelha-se bastante a um estilo construtivo oriundo dos países germânicos, Inglaterra e França, conhecido por “Fachwerk”, figura 3.18.



Figura 3.17. – Parede em tabique, Bastos (2019)

Em Portugal, esta solução foi usada de modo mais simples e menos complexa. Segundo Fernandes (1999), é possível mapear a evolução da Casa Burguesa, no Porto segundo três fases distintas:

1. Casa Mercantilista, século XVII;
2. Casa Iluminista, século XVIII;
3. Casa Liberal, século XIX e décadas iniciais do século seguinte;



Figura 3.18. – Construção em Fachwerk, Wittmann (2016)

Na casa Mercantilista, o material predominante era a madeira, era utilizada para os pisos, paredes e cobertura. Este tipo de construção, encontrava-se mais no interior da cidade.

No estilo iluminista, devido à preocupação com incêndios e com a longevidade, dos sistemas construtivos mais rudimentares as paredes exteriores construídas com madeira, (enxaimel) são substituídas por alvenaria em pedra.

Tal como aconteceu com a baixa pombalina, também no Norte do País, se começam a evidenciar vestígios da sistematização e pré-fabricação em muito semelhantes aos sistemas industrializados, dos dias de hoje.

Na casa Liberal, as maiores diferenças são na utilização que se deu aos edifícios, tal como na baixa pombalina, também aqui a construção dos pisos e das caixas de escadas são feitas em madeira.

Em suma, a madeira como material de construção não é uma novidade. Como foi possível de se constatar por estas soluções construtivas, a sua utilização tem sofrido enormes evoluções, e a sua adaptabilidade e resiliência mostrou-se capaz de responder às exigências que lhe foram impostas. É com certeza, um material com potencialidade que não deve ser ignorado face às suas qualidades.



Figura 3.19. – Parede em enxaimel, Bastos (2019)

4

Produtos derivados de Madeira

4.1. MADEIRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

Com vista a seguir, um avanço linear e cronológico, no que toca à evolução temporal da madeira e as suas diferentes utilizações, neste capítulo surgem, algumas das aplicações mais recentes do material. A madeira laminada colada ou CLT (do inglês Cross laminated timber) e madeira lamelada colada ou GLT (do inglês glued laminated timber), serão termos com destaque nas próximas páginas assim como as suas respetivas definições e usos mais correntes.

Até aqui estudou-se a madeira maciça, e as suas características mecânicas e comportamentais sem qualquer adição de colas, ou outros materiais. A madeira maciça apresenta-se sob a forma rolada, ou serrada, constituindo neste caso vigas, pranchas, tábuas, entre outras possíveis formas. Apresenta como principais inconvenientes:

- Permitir a construção de peças de secção transversal e comprimento restringidos;
- Apresentar uma grande variabilidade das suas propriedades.

Em alternativa, o mercado surge com a solução de derivados de madeira (em inglês Engineered Wood Products - EWP) com características estruturais interessantes.

“If the 19th century was the century of steel, and the 20th century of concrete, then the 21st century is about engineered timber.”

- Arquitecto Alex de Rijke, dRMM Architects

A madeira exhibe características ideais ao fabrico e transformação para uma construção estandardizada. A pré-fabricada em madeira, retira partido máximo do potencial da industrialização, que conduz a uma maior eficiência e conseqüente decréscimo no desperdício.

Segundo Steurer (2006), o “boom” da pré-fabricação deu-se, sobretudo, devido aos seguintes fatores:

- Desenvolvimentos técnicos nas áreas de segurança;
- Melhoramento desempenho físico dos edifícios, qualidade e durabilidade;
- Desenvolvimentos novos processos de produção que libertaram os arquitetos das restrições de uma construção em grelha e aumentaram consideravelmente a sua liberdade criativa.

Assim, a pré-fabricação torna-se um aliado dos sistemas construtivos em madeira, garantindo maior qualidade e rigor. O rigor da planificação, presente desde o início do projeto, revela-se fulcral na fase de construção, uma vez que todas as dimensões são levadas em consideração com margens de erro de milímetros, fruto de um processo rigoroso.

4.1.1. MADEIRA LAMINADA CRUZADA

O desenvolvimento dos produtos derivados de madeira levou à evolução dos sistemas construtivos em madeira. A madeira laminada cruzada ou CLT (do inglês Cross laminated timber) é um desses exemplos. Tendo sido criado na Suíça em 1990, e desenvolvido na Áustria através de uma colaboração entre o setor industrial e a Universidade de tecnologia de Graz. Não se trata de apenas um material de construção, mas sim de um novo processo de construção.

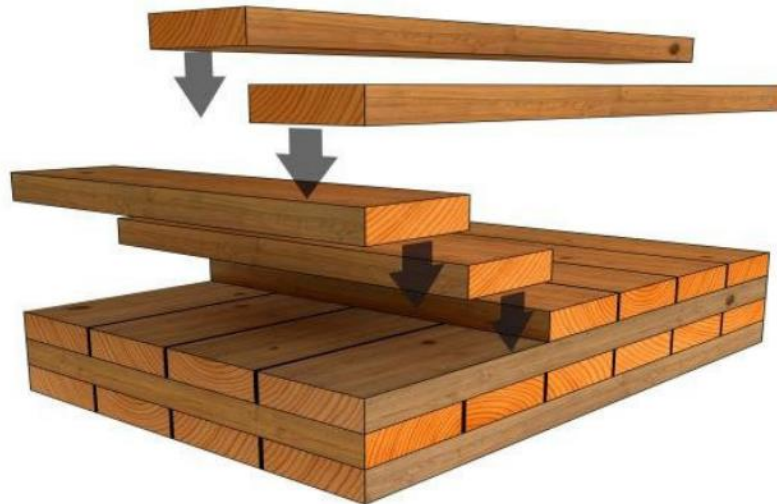


Figura 4.1. – CLT, Buck (2016)

O seu fabrico baseia-se na colagem de várias camadas de tábuas de madeira em camadas sucessivas, com as tábuas dispostas ortogonalmente entre si, figura 4.1.

Os painéis em CLT, podem servir tanto como elementos de parede, quer de laje. Além disso, o cruzamento das lamelas permite atingir capacidades de resistência e rigidez superiores, quer no plano, quer fora do mesmo. A capacidade resistente adicional, deve-se à sua composição interna maciça, que permite uma distribuição da carga de modo bidirecional. A capacidade de carga, conjugada com o reduzido peso próprio, permite elementos esbeltos, mesmo para vãos de grande dimensão. O cruzamento das lamelas limita os movimentos higroscópicos do material quando sujeita a alterações no teor de água. Com o aumento da base de dados acerca deste material, é possível a utilização de CLT em construção de cada vez, maior altura. A construção do O edifício Stadthaus, em Londres, é um dos exemplos da aplicação deste material em altura, servindo como forte testemunho das capacidades do material laminado.

4.1.2 HOMOLOGAÇÃO

O material CLT é homologado segundo a ETA-06/0138 – European Technical Approval. Devido à qualidade e “performance”, demonstrada pelos painéis, foi-lhe atribuída a marcação CE, sinónimo de confiança e fiabilidade.



Figura 4.2. – Edifício Stadthaus, Bastos (2019)

4.1.3 ANÁLISE ESTRUTURAL

Para efetuar a modelação do “cross laminated timber” é necessário ter em consideração alguns aspetos, segundo (Lourenço et al. 2013):

- ❖ A junção de painéis para a composição de paredes, pisos, coberturas e outros corresponde habitualmente a ligações resistentes ao corte (ligação rotulada) e muito dificilmente com resistência ao momento fletor;
- ❖ Em flexão no plano perpendicular ao painel (pavimentos e coberturas) deverá ser calculada uma inércia efetiva;
- ❖ Para além das características geométricas da secção, a inércia efetiva depende da distância entre pontos de inflexão no painel (pontos de momento nulo);
- ❖ Este cálculo poderá ser efetuado com o recurso ao Anexo B do Eurocódigo 5 ou de forma mais expedita com ábacos de pré-dimensionamento disponibilizados pelos fabricantes;
- ❖ Em flexão no plano do painel, situação comum nas padieiras de portas e janelas ou paredes em consola, a secção efetiva corresponde às lamelas horizontais sem perda de secção.

As características dos materiais ainda não seguem um modelo fixo de parâmetros, ao contrário do que se sucede com a madeira lamelada-colada, em que são estipuladas classes de resistência. As fichas técnicas, são desenvolvidos por cada fabricante e definem as propriedades, a considerar para usar no projeto e dimensionamento dos painéis. De acordo com o processo de colagem usado, são de esperar algumas diferenças entre fabricantes, particularmente, no que toca ao valor do módulo de elasticidade.

Para uma melhor compreensão do funcionamento destes elementos será interessante focar em mais alguns aspetos essenciais, sendo eles:

- A secção transversal deve ser avaliada, tendo em conta a deformação por esforço transversal que ocorre nas lamelas transversais ao plano de flexão, ver figura 4.3;
- Redistribuição de cargas em duas direções ortogonais, considerando a configuração dos estratos e as dimensões do material;
- Estabilidade dimensional, devido à restrição provocada pela colagem ortogonal dos estratos; Utilização de classes de serviço 1 e 2, não sendo aconselhada a classe de serviço 3.

Na figura esquemática 4.3., observam-se os diagramas de tensões esperados na secção transversal de um painel. No centro é representada a evolução das tensões normais, sendo notável a ausência de rigidez de flexão nos estratos transversais. No gráfico mais à direita, na representação das tensões de corte, distinguem-se, as tensões de corte com apenas valores perpendiculares ao fio (corte rasante) e as tensões de corte normais que exibem valores perpendiculares e paralelos ao fio da madeira. A deformação provocada pelo esforço transversal rasante nos estratos normais à direção principal de flexão (distorção das lamelas) corresponde a um escorregamento relativo entre os estratos longitudinais, com a conseqüente perda de rigidez de flexão. Como exemplo, um painel de 5 estratos e 145mm de espessura poderá apresentar uma redução de 23% na rigidez à flexão, para um vão de 4m. Em paredes, elementos solicitados no seu plano, os esforços são absorvidos pelos estratos verticais, passando as tensões paralelas ao fio da madeira. Com esforços desta natureza, o dimensionamento é condicionado pela verificação à instabilidade por encurvadura. Em painéis com aberturas de vãos, o lintel formado é analisado como uma viga, desprezando as lamelas verticais.



Figura 4. 3. – Tensões CLT, (Lourenço et al. 2013)

4.1.4. DURABILIDADE

O nível de durabilidade encontra-se inerentemente, ligado à natureza da madeira escolhida assim como às condições a que os materiais foram e estão submetidos.

O uso dos painéis está limitado às classes de risco 1 e 2, correspondentes a uma exposição abrigada e sem contacto direto com as condições meteorológicas (NP EN335-1:2011). Sob tais condições, poderá ocorrer ocasionalmente, humidade relativa elevada, mas não persistente. Coincidirá com situações típicas no interior de edifícios ou tetos exteriores. Com a durabilidade média das espécies usualmente escolhidas, (EN350-2:1994), é recomendável o uso de produtos protetores contra insetos e fungos. Segundo os documentos normativos europeus, a vida útil esperada para painéis de CLT é de 50 anos.

4.1.4. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

A resistência ao fogo tem uma importância muito elevada no sentimento de segurança dos utilizadores. Uma das razões, de levar à rejeição de tais sistemas construtivos, Costa (2013). Sendo que a resistência de um dado material aos incêndios, é a sua capacidade de cingir o incêndio à zona de onde deflagrou, concomitantemente com a manutenção das capacidades estruturais dos seus elementos constituintes.

Como referido anteriormente, a madeira apresenta as suas vulnerabilidades. Embora seja um material inflamável, o seu desempenho depende do tamanho e forma da secção transversal da peça de madeira. Em caso de exposição ao fogo, a camada de carvão à envolta da peça de madeira, reage como uma capa de proteção da restante peça, contribuindo para a diminuição da temperatura das camadas mais interiores do material. Acabando mesmo por ter efeitos opostos à continuação da deflagração pois provoca uma maior dificuldade de ignição e combustibilidade, durante todo este processo, a madeira consegue manter as suas funções estruturais. Uma das suas maiores vantagens é a de possuir um comportamento previsível em relação ao fogo, figura 4.4. E ainda, possibilita uma medição precisa da sua taxa de carbonização, em mm/min. Estes

dados, permitem calcular com precisão a secção transversal que um elemento de madeira possuir, para que responda de modo eficaz às exigências normativas em vigor.

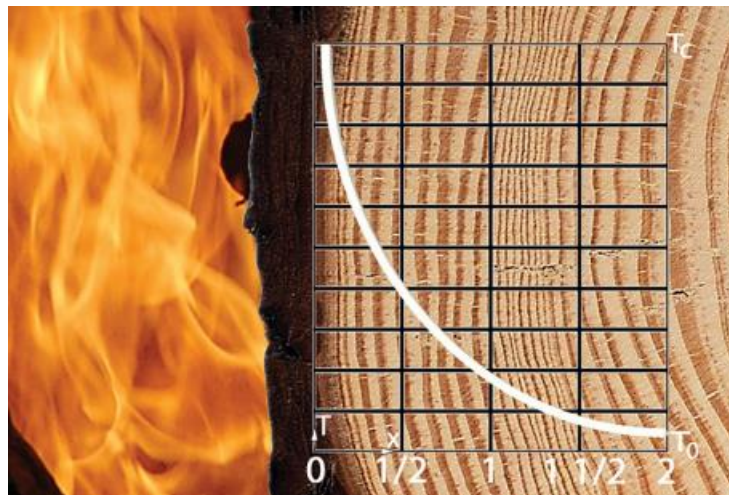


Figura 4.4. - Relação temperatura/ tempo, madeira maciça sob ação do fogo, Structure Magazine (2019)

No que concerne aos painéis CLT, estes possuem características específicas de comportamento dado que são compostos por várias camadas, dispostas ortogonalmente. A madeira, presente nos painéis inflama somente após o contacto ao fogo com uma temperatura de 400° C ou superior. Após ultrapassado este valor, os painéis ardem a uma taxa de carbonização de 0,67mm/min para a primeira camada e 0,74mm/min para as camadas seguintes. A diferença justifica-se pela diferença de qualidade da madeira utilizada, sendo a camada exterior de melhor qualidade. Estes valores encontram-se de acordo com os documentos de aprovação técnica europeia ETA 06/0009. A título de exemplo, um painel com 140mm, em que as camadas exteriores servem de proteção a uma secção estrutural necessária de 60mm, é possível determinar o tempo de resistência ao fogo do painel, efetuando a conta, $40 \div 0,67 \simeq 60\text{min}$.

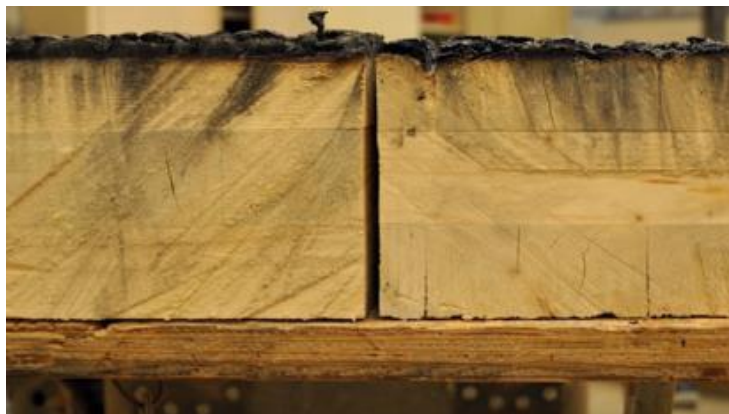


Figura 4.5. - Carbonização camada exterior, Sarma (2017)

4.1.4. COMPORTAMENTO SÍSMICO

Dado tratar-se de um material homologado, apresenta todas as características necessárias a uma boa resposta sísmica. Até terá sido um dos sistemas escolhidos para a reconstrução da cidade de L'Aquila, em Itália, após o sismo de 2009.

O Eurocódigo 8 estipula o cumprimento de dois requisitos fundamentais: não ocorrência de colapso/ limitação de dano, correspondendo respetivamente aos Estados Limites Últimos e ao Estado Limite de Danos. Em estados limites últimos, para além da resistência, a capacidade de dissipação de energia desempenha um papel crítico, contemplado no coeficiente de comportamento da estrutura.

Nos sistemas com painéis de madeira, as zonas dissipativas ou zonas críticas são encontradas nas ligações entre painéis, mais especificamente na ligação à fundação ou ao “embasamento”. As zonas dissipativas devem ser encontradas nas ligações, enquanto os elementos de madeira devem ser tomados como tendo um comportamento elástico-linear. Para que seja possível a plastificação cíclica nas zonas dissipativas, todos os outros elementos e ligações estruturais deverão ser dimensionados com uma sobre resistência suficiente. Certos autores indicam um valor mínimo de 1,3 para o coeficiente de sobre resistência. Segundo Costa (2013), os princípios gerais que ajudam ao bom comportamento sísmico do CLT, são os seguintes:

- ❖ Redundância estrutural;
- ❖ Ação de diafragma ao nível dos pisos e das paredes;
- ❖ Massa reduzida (menor força de inércia);
- ❖ Capacidade de dissipação de energia nas ligações metálicas.

As paredes de madeira comportar-se-ão como elementos sísmicos primários de contraventamento e oferecerão resistência às forças horizontais, ligados por diafragmas rígidos ao nível dos diferentes pisos. O Estado de Limitação de Danos é assegurado pela restrição do deslocamento horizontal dos pisos. As paredes em madeira providenciam à estrutura o nível de contraventamento suficiente para diminuir estes deslocamentos.

Existem ensaios sísmicos que comprovam o excelente desempenho deste sistema construtivo sob uma ação sísmica intensa e repetida. O projeto SOFIA, testou, em mesa sísmica, um edifício de sete andares à escala real, que sobreviveu à ação sísmica sem danos consideráveis.

4.1.4. COMPORTAMENTO ACÚSTICO E TÉRMICO

Quando comparado com outros materiais de construção, os painéis em CLT apresentam valores bastante baixos de condutibilidade térmica.

Na tese de mestrado de Costa (2013), o autor dá o exemplo entre uma parede com painéis e uma parede dupla em alvenaria, com tijolo. Para que ambas as soluções obtenham um coeficiente de transmissão térmica (U), aproximado à unidade é necessária uma diferença 20cm de espessura da parede. No quadro em baixo, apresentam-se os elementos das paredes, explicitados. O bom desempenho do material, em parte deve-se à grande redução de pontes térmicas, que leva a uma homogeneidade nos valores da condutibilidade térmica do material.

Quadro 4.1. – Coeficiente Transmissão térmica

	Solução em CLT	Solução em alvenaria
Painel CLT (10cm)	x	
Wallmate (6cm)	x	x
Tijolo (15cm)		x
Tijolo (11cm)		x
Caixa de ar (4cm)		x

Em termos acústicos os painéis em estudo, apresentam valores aceitáveis, no entanto dada a sua baixa densidade, de aproximadamente 470 kg/m^3 , é necessário dar uma especial atenção aos sons de percussão. Não sendo dos materiais mais eficazes no que concerne ao isolamento sonoro, especialmente quando é necessário obedecer a critérios rigorosos. Com a introdução de camadas de isolamento acústico e uma mais cuidada montagem das ligações é possível superar alguns destes problemas.

4.1.5. VANTAGENS E DESVANTAGENS

Como todos os materiais, também o CLT apresenta as suas qualidades mais favoráveis e menos favoráveis. Assim sendo, o Quadro 4.2., apresenta um apanhado de algumas características a ter conta aquando da ponderação do seu uso.

Quadro 4.2. – Vantagens e desvantagens CLT

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Favorece industrialização e pré-fabricação; ❖ Reduz tempo de construção; ❖ Redução resíduos e desperdícios; ❖ Produção dos elementos em fábrica mais simples, rápida e silenciosa; ❖ Elevada versatilidade face a elementos modulares; ❖ Facilidade em adaptar o material à envolvente; ❖ Possibilidade de montar sistemas híbridos, com betão armado, estrutura metálica ou até mesmo a conjugação dos três; ❖ Material com maior responsabilidade ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Risco de colapso progressivo, dado tratar-se de uma construção maciça; ❖ Necessário revestimento com materiais retardantes ou ignífugos, ocultando a textura típica; ❖ Mercado de nichos; ❖ Necessidade de mão de obra especializada; ❖ Preços praticados pelos fabricantes pouco apelativos; ❖ Material, visto como de baixa qualidade de construção e segurança; ❖ Necessita de planeamento preciso e antecipado, praticamente não admite alterações após o seu fabrico e corte; ❖ Suscetibilidade ao contacto com o solo, necessário embasamento recorrendo a outro material;

4.1.6. MADEIRA LAMELADA COLADA

4.1.6.1 DESCRIÇÃO PRODUTO

A madeira lamelada colada ou GLT (do inglês glued laminated timber) é um produto de madeira fabricado industrialmente como estrutura de suporte de carga. É usado na construção de edifícios assim como pontes ou viadutos. A sua composição é simétrica e consiste em pelo menos duas tábuas de madeira seca, coníferas, coladas paralelamente ao grão. Como resultado surge um material que é reforçado e com maior capacidade de carga do que madeira convencional. A madeira lamelada colada, assim como outros grupos de produtos de madeira maciça colada são definidos de acordo com a EN 14080:2013.

O GLT é caracterizado por possuir uma espessura de lamelas de 40 mm e pode ser utilizado numa panóplia de soluções, graças à sua alta resistência e à variabilidade de características possíveis de serem criadas. A madeira maciça colada poderá ser fabricada com valores inferiores ou superiores a 40 mm, de acordo com pedidos específicos.

O processo de fabricação dos GLT permite construir peças estruturais de grande dimensão e com eixo curvilíneo. A madeira lamelada colada classifica-se como homogénea, ou combinada:

- A madeira lamelada colada homogénea é constituída apenas por lamelas pertencentes à mesma classe de resistência e à mesma espécie;
- A madeira lamelada colada combinada, contém na sua composição, lamelas exteriores e interiores de diferentes classes de resistência, ou a espécies diferentes.

Tal como a madeira maciça, também a madeira lamelada-colada, é classificada em classes de resistência. Existe a normativa europeia que a classifica, EN 1194:1999, e a norma portuguesa NP EN 1194:2002.

4.1.6.1 INFORMAÇÃO TÉCNICA

O GLT ou glulam como é conhecido na gíria comum, é composta principalmente por abeto prateado e abeto. Sendo que pinho-larício e abeto-de-Douglas, também poderão ser adicionados em pequenas proporções. O produto é produzido com madeira, com valores de humidade nos 12%. Não são emitidas emissões para a atmosfera, nem gases ou qualquer outra substância nociva. Também, não são libertadas substâncias nocivas nem para o solo nem para a água. O pó de madeira que é produzido durante a produção, é filtrado no local de produção uma vez que, as fabricas estão equipadas com sistemas de filtragem de pó de acordo com os requisitos legais. As instalações, são constantemente alvos de vistoria por parte de entidades encarregues de confirmar as condições de trabalho.

Relativamente à vida útil de referência, não se encontra especificada na norma ISO 15686. De acordo com o fabricante Schilliger Holz, a vida útil dos produtos de construção, poderá ser estimada em mais de 50 anos, para a madeira laminada em aplicações de suporte de carga. A vida útil do colado de madeira geralmente coincide com o período espectável de vida útil do edifício em que se inserem. Segundo Holz (2022), se o material for usado como pretendido, não há fim conhecido para a durabilidade do mesmo.

No caso de desmontagem seletiva após o fim da sua vida útil, a madeira colada pode ser reutilizada ou reaproveitada sem quaisquer obstáculos. Se a madeira colada não puder ser reutilizada, será então reciclada termicamente utilizando um forno de resíduos de madeira ou uma máquina de incineração de resíduos para a geração de calor para o processo de geração de eletricidade. Esta utilização é possível devido ao seu valor calórico elevado de aproximadamente 15 MJ/kg.

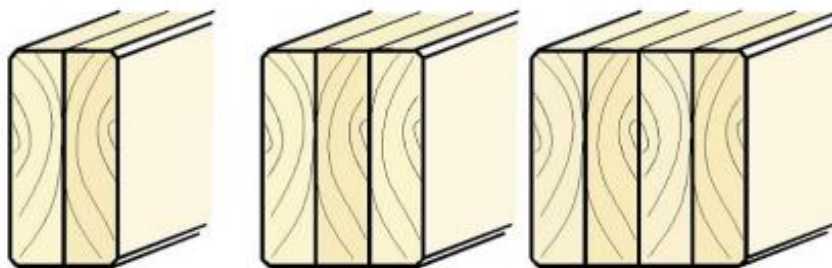


Figura 4.6 - Vigas em glulam, Holz (2022)

4.1.6.1 EXEMPLOS DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Existem várias soluções no mercado que utilizam este tipo de material. Um dos sistemas em rápido crescimento é o sistema CREE. Guiados por uma visão de soluções de construção sustentáveis e versáteis, o sistema CREE combina construção híbrida de madeira e betão armado para o desenvolvimento de edifícios de grande volume. Permite criar escritórios e edifícios residenciais de forma rápida e com baixo risco associado.

Os criadores deste sistema, afirmam que ao utilizar esta solução, a pré-fabricação leva a um aumento estimado de 30% na produtividade do trabalho e 50% a 70% menos trabalhadores no local em comparação com métodos convencionais. Usando componentes totalmente pré-fabricados, a tecnologia de construção híbrida de madeira da CREE permite a construção de aproximadamente 500 m² de área fechada, aproximadamente cinco vezes o ritmo da construção convencional, usando betão. Os componentes pré-fabricados fornecem maior qualidade e precisão graças à sua montagem em um ambiente controlado. Para os ocupantes, os edifícios híbridos de madeira do CREE garantem menores custos de operação e manutenção. A integração dos processos de projeto e construção permite projeções antecipadas precisas dos custos e cronograma.

O primeiro edifício de construção híbrida na península ibérica, é o hotel B&B Guimarães, desenvolvido pelo grupo Casais. Utilizando GLT e apenas 1/3 do betão de um edifício tradicional, o que levou a reduzir a pegada de carbono incorporado na construção em mais de 60% quando comparado com um edifício tradicional. É o primeiro edifício desta dimensão que armazena carbono e permite uma redução de 60% das emissões, incorpora interiores numa filosofia de economia circular onde 50% dos materiais podem ser reutilizados no final do ciclo de vida. Permite também uma redução de resíduos em 70% e da poluição sonora em mais de 50%, além de reduzir os prazos de execução em 50% em comparação com o tradicional. Contribui ainda para o aumento da qualificação profissional e a redução de riscos e acidentes, uma vez que os processos de montagem são cuidadosamente antevistos e planeados.



Figura 4.7. – Fase construção hotel B&B Guimarães
(Figura de Grupo Casais, 2022, www.casais.pt.)



Figura 4.8. – Fase construção hotel B&B Guimarães
(Figura de Grupo Casais, 2022, www.casais.pt.)

5

Caso Prático

5.1 ENQUADRAMENTO

O desafio lançado pela Blufab, consiste no estudo da viabilidade da substituição de perfis metálicos, existentes nas soluções que agora produzem, por perfis em madeira. Tendo sempre como foco a diminuição da pegada de carbono. Dado tratar-se de uma tese de mestrado optou-se por estudar apenas uma parede do sistema, em vez do módulo sanitário completo. Assim sendo, a parede escolhida, foi a de maiores dimensões e de maior massa, que é a parede onde são fixados o lavatório e a sanita. A parede em questão tem uma massa de aproximadamente 150 kg e a dimensão de 2,50 x 2,15 [m²].

Uma vez que o estudo incidiu apenas numa única parede, desprezou-se a influência de solicitações perpendiculares ao plano da mesma. Uma vez que o sistema completo, forma essencialmente um quadrado, o comportamento às forças horizontais muda bastante face ao comportamento de uma parede só. Tal, deve-se ao facto de a estrutura passar a exhibir um comportamento tipo “caixa”, em que paredes paralelas às solicitações, devido à sua maior inércia, produziram efeitos de contraventamento no sistema, contribuindo para uma maior rigidez. As solicitações poderiam surgir de correntes de ar internas, ou choques de pessoas com as paredes, por exemplo. Para este último caso é usual fazer testes como choque de corpo mole para averiguar a resistência das paredes.

5.2 ENQUADRAMENTO ESTRUTURAL

Como já foi referido anteriormente, neste documento, sendo a madeira um material ortotrópico, apresenta um comportamento distinto entre três direções ortogonais entre si:

- 1) Direção Longitudinal;
- 2) Direção radial;
- 3) Direção tangencial.

A cada uma destas direções está associada um conjunto particular e distinto de comportamentos mecânicos. Essas mesmas propriedades, dependem da espécie e da sua massa específica.

Madeiras mais densas, apresentaram normalmente, maior rigidez e maior resistência. Para além destes fatores, ainda será necessário considerar a orientação do corte da peça, defeitos e teor de humidade.

A norma EN 338:2016, ver figura 5.1., apresenta as classes de resistência das madeiras nomeadas de “softwood species” e “hardwood species”. Das primeiras, fazem parte as árvores resinosas, como pinheiro, abeto, cedro entre outras. À segunda categoria fazem parte árvores da família das folhosas, como é o caso do eucalipto, do sobreiro, do carvalho, do castanheiro entre outras. Será ainda de referir que a classificação da madeira, pode também ser feita através da identificação da espécie e observação visual, seguindo a EN 1912:2012. No caso de madeira

serrada de pinho bravo para estruturas, existe uma norma nacional, NP 4305:1995, que permite, através das características observadas na peça, classificá-la segunda duas classes de resistência: E e EE, indicadas por ordem crescente de resistência admitida e qualidade.

		Poplar and softwood species										Hardwood species							
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Strength properties (in N/mm ²)																			
Bending	$f_{b,0}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	30	35	40	50	60	70
Tension parallel	$f_{t,0 }$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42
Tension perpendicular	$f_{t,0\perp}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compression parallel	$f_{c,0 }$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32	34
Compression perpendicular	$f_{c,0\perp}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	6,0	6,4	6,8	8,8	9,7	10,5
Shear	$f_{v,0}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Stiffness properties (in kN/mm ²)																			
Mean modulus of elasticity parallel	$E_{0,mean }$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	10	10	11	14	17	20
5% modulus of elasticity parallel	$E_{0,5 }$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{0,mean\perp}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Mean shear modulus	$G_{0,mean}$	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
Density (in kg/m ³)																			
Density	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900
Mean density	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1090
NOTE: a) Values given above for tensile strength, compression strength, shear strength, 5% modulus of elasticity, mean modulus of elasticity perpendicular to grain and mean shear modulus, have been calculated using the equations given in annex A. b) The tabulated properties are compatible with timber at a moisture content consistent with a temperature of 20°C and a relative humidity of 65%. c) Timber conforming to classes C45 and C50 may not be readily available.																			

Figura 5.1– Classes resistência madeira, EN338:2016

Qualquer edifício deve ser concebido como um sistema integrado e tridimensional, constituído por elementos resistentes horizontais e verticais. Tal como no caso de outras estruturas reticuladas, as estruturas de madeira necessitam de modelos de análise adequados às tipologias estruturais a estudar, e modelos de cálculo apropriados aos esforços atuantes nos elementos, as características dos materiais e as soluções de ligação a dimensionar, ou verificar. Como material orgânico, um dos maiores desafios na verificação da estabilidade de estruturas de madeira consiste na obtenção de valores resistentes de cálculo que tenham em conta as suas singularidades e defeitos. Por outro lado, é necessário contabilizar a ocorrência de mecanismos de degradação, nomeadamente ataques bióticos. Esta característica impõe a atribuição de classes de risco e de durabilidade no dimensionamento, verificação da segurança e conforto estrutural das estruturas de madeira. Embora apresente uma reação adversa ao fogo, por se tratar de um material combustível, apresenta uma boa resistência ao fogo. Uma maior massa volúmica leva a uma menor velocidade de combustão e a um tempo de ignição mais longo. No caso das estruturas de madeira, são utilizadas as metodologias dispostas no Eurocódigo 5.

5.3 DIMENSIONAMENTO SEGUNDO O EUROCÓDIGO 5

As ações a considerar sobre as estruturas encontram-se preconizadas no Eurocódigo 1, EN 1991-1-1. Peso próprio, cargas permanentes, sobrecargas, temperatura, etc. No caso das estruturas de madeira, o efeito da duração das ações influencia o cálculo. O Eurocódigo 5, prevê 5 classes de duração de ações. Para este caso, como se trata de uma parede autoportante, que inclui o seu peso próprio, acrescido do peso adicional de equipamentos, a duração atribuída é de permanência. O EC5 preconiza 3 classes de serviço que têm em conta o tipo de exposição do elemento, ou da estrutura. O caso de estudo enquadra-se na classe de serviço 1. A madeira pela qual se optou foi, madeira maciça de pinho da classe C18, classe de serviço 1 com carácter de permanência ($k_{mod} = 0,60$). Definiu-se o perfil de madeira como sendo quadrado com lado de 50 mm. Foi escolhida esta dimensão por ser a mesma dimensão da maior parte dos perfis metálicos utilizados. Em baixo, apresentam-se figuras com as cargas à qual a estrutura em madeira se encontraria sujeita. As cargas aplicadas estão distribuídas sobre os elementos verticais para melhor simular o comportamento da parede. Estas mesmas cargas já se encontram majoradas com um coeficiente de 1,35.

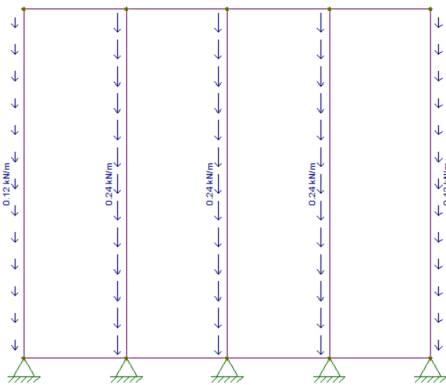


Figura 5.3. – Carga distribuída, esforços axiais Ftool

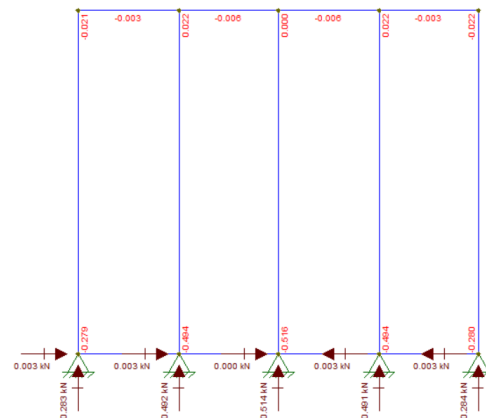


Figura 5.2. – Esforços axiais, Ftool

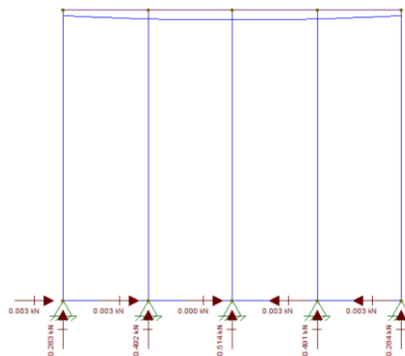


Figura 5.4. – Deformada, Ftool

5.3.1 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \left(\frac{f_{t,0,k}}{Y_M} \right) = 0,6 \cdot \left(\frac{11}{1,30} \right) = 5,08 \text{ MPa} \quad (5.1)$$

$$k_h = \text{mínimo} \left\{ \left(\frac{1}{h} \right)^2 ; 1,3 \right\} = 1,24 \quad (5.2)$$

$$\sigma_{t,0,d} \leq k_h \cdot f_{t,0,d} \quad (5.3)$$

$$\left(\frac{N_{t,sd}}{0,05^2} \right) \leq 5080 \Leftrightarrow N_{t,sd} \leq 15,7 \text{ KN Ok!} \quad (5.4)$$

Ao comparar estes valores com os fornecidos pelo programa de cálculo, conclui-se que a estrutura se encontra segura, dado que os valores exibidos são muito inferiores ao valor máximo que os perfis conseguem suportar. Esta verificação é paralela ao fio.

5.3.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Assumindo ambas as extremidades rotuladas e considerando $k_c=1$ (sem encurvadura), $f_{c,0,k} = 18$ MPa, $\beta_c = 0,2$.

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \left(\frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} \right) = 0,6 \cdot \left(\frac{18}{1,30} \right) = 8,31 \text{ MPa} \quad (5.5)$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c \cdot f_{c,0,d} \quad (5.6)$$

$$\left(\frac{N_{comp,sd}}{0,05^2} \right) \leq 8310 \Leftrightarrow N_{comp,sd} \leq 20,8 \text{ KN Ok!} \quad (5.7)$$

Mais uma vez, os valores apresentados são em muito superiores aos valores fornecidos pelo programa de cálculo. No entanto falta verificar o fenómeno de encurvadura.

$$\lambda = \frac{L}{\left(\frac{h}{\sqrt{12}} \right)} = 149 \quad , h=0,05m, L=2,15m \quad (5.8)$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \times \left(\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}} \right)^{1/2} = 2,60 > 0,3 \Rightarrow \text{ocorre encurvadura} \quad (5.9)$$

$$k = 0,5 \cdot (1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2) = 4,11 \quad (5.10)$$

$$k_c = \frac{1}{k + (k^2 - \lambda_{rel}^2)^{1/2}} = 0,14 \quad (5.11)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \Leftrightarrow \frac{0,514}{0,14 \times 8,31 \cdot 10^3} \leq 1 \Leftrightarrow 0,18 \leq 1 \quad \text{OK!} \quad (5.12)$$

O valor de k_c ,mostra que há uma redução da resistência de 86%, devido ao fenómeno de encurvadura. No caso da verificação de segurança na direção perpendicular ao fio, a expressão é a seguinte:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad (5.13)$$

$$\frac{0,516}{0,05^2} \leq 1 \cdot 1010 \text{ [MPa]} \quad \text{OK!} \quad (5.14)$$

A tensão é calculada na zona de aplicação da carga e o valor do coeficiente é sempre 1, exceto em algumas situações mencionadas no Eurocódigo 5. Numa análise completa, seria também feita a verificação de segurança a diferentes tipos de flexão. No entanto como neste caso praticamente não existe flexão, não foi realizado esse estudo. Para estruturas mais complexas

também se torna imprescindível o estudo dos estados limites de utilização ou serviço, que se encontram associados à deformação e vibração das mesmas.

5.3.3 LIGAÇÃO PERFIS MADEIRA

No Eurocódigo, encontram-se os requisitos mínimos de proteção contra a corrosão com base nas diferentes classes de serviço e tipos de utilização. Assim como, indicações acerca da necessidade ou não de pré-furos, consoante as características dos materiais. O apoio ao dimensionamento e verificações de segurança de diferentes ligações, também se encontram escritas no documento. As ligações devem garantir a ausência de roturas previstas pela teoria de Johansen, que considera diversas hipóteses de funcionamento dos sistemas de ligação. Para o cálculo dos modos de rotura são necessários vários dados tais como, o valor da tensão resistente ao esmagamento, o valor do momento resistente, entre outros. De seguida, apresentam-se valores resistentes de materiais tipo, que poderiam servir como possível solução para a ligação do sistema em estudo. Foi deixada a verificação de segurança, como demonstração, ficando a faltar o cálculo das cargas para os diferentes tipos de rotura assim como a resistência ao esmagamento. Uma vez que os valores aplicados à estrutura são muito baixos, não iriam provocar medidas extra relativamente às que já se encontram sugeridas de seguida.

Quadro 5.1. – Produtos Ligação, Rothoblaas

Produtos tipo a utilizar	
Chapa Furada LBV40120	Prego Anker LBA440
B = 40 mm	d ₁ = 4,0 mm
s = 2 mm	L = 40 mm
H = 120	R _{Vk} = 1,89 kN

Quadro 5.2. – Verificação segurança Ligação, Rothoblaas

Verificação de segurança da ligação		
Característica a considerar	Equação	Valor
Valor de projeto, resistência à tração da chapa, R _{ax,d}	$R_{ax,d} = \frac{R_{ax,k}}{1,25}$	14,24 kN
Resistência conector, R _{vd}	$R_{vd} = \frac{R_{v,k} \cdot k_{mod}}{Y_M}$	0,87 kN
Número de conectores, n	-----	2
Número de filas, m	-----	1
K _{mod}	-----	0,60
Y _M	-----	1,30
Resistência à tração do sistema, R _{1d}	mínimo {R _{ax,d} ; $\sum m_i n_i^{0,85} R_{v,d}$ }	1,57 kN ≥ força aplicada no sistema Ok!

5.3.4 CICLO DE VIDA

Como modo de estudar a eficácia da nova solução, foi deixada uma breve análise comparativa da pegada de carbono associada a cada uma das estruturas. Como é possível observar no Quadro 5.3. a substituição da solução usando perfis em aço galvanizado, por perfis em madeira, poderá levar a uma redução do potencial de aquecimento global de cerca de 26,7%. Embora a solução apresentada, disponha de uma redução considerável da pegada de carbono, a mesma ainda poderá ser otimizada e melhorada em muitos aspetos. A começar pela geometria, pela quantidade e pela espécie da madeira utilizada.

Para uma melhor compreensão, será importante definir dois dos parâmetros abaixo indicados. O potencial de aquecimento global é um indicador que representa um valor ponderado entre a quantidade de calor que um determinado gás consegue absorver e o tempo de subsistência desse mesmo gás na atmosfera. Um dos gases mais estáveis é o dióxido de carbono, razão pela qual é usado como base comparativa. O seu período de subsistência na atmosfera é muito longo, até iniciar o processo de decomposição, ou ser absorvido pelos oceanos e florestas. Quanto maior o GWP (do inglês Global Warming Potencial), mais um determinado gás aquecerá o planeta em comparação ao CO₂ durante o mesmo período. O hiato temporal é geralmente 100 anos. Este raciocínio poderá ser aplicado aos ciclos de vida dos materiais que se pretendam comparar.

O segundo parâmetro é o carbono biogénico. O ciclo biogénico do carbono centra-se na capacidade das plantas em absorver e armazenar carbono. As plantas têm a capacidade única de remover dióxido de carbono da atmosfera e conter esse mesmo carbono nas suas folhas, raízes e caules, enquanto libertam para a atmosfera oxigénio - fotossíntese. Será importante referir que, para pesquisas futuras, se for contabilizado o carbono biogénico, a pegada associada à solução 2 poderá ser ainda mais reduzida.

Quadro 5.3. - Ciclo de vida completo, [35][36]

Solução	Potencial de Aquecimento Global (CO ₂ equivalente por kg)	Quantidade de material usado, kg	Quantidade total de CO ₂ , kg
Solução 1 em aço galvanizado	1,801 kg	9,82	17,70
Solução 2 em madeira pinho	0,575 kg (excluindo carbono biogénico)	22,55	12,97

6

Conclusões e desenvolvimentos futuros

6.1 CONCLUSÕES

As ilações que se podem tirar deste trabalho de pesquisa são claras, no entanto algo incompletas no que toca ao paradigma geral de uma solução completa. Como foi estudado a madeira, de facto é um material que apresenta muitas qualidades que podem ser bem empregues na industrialização do setor da construção civil. Assim como, no caso prático desenvolvido no capítulo anterior. No entanto é necessário considerar o local de extração do material, o modo como foi feito, a distância de transporte e de que maneira foi realizado esse mesmo transporte. O estudo do ciclo de vida é complexo e muito exigente no que toca à informação que requer para apresentar informação com fundamento e fidedigna. A informação que se encontra disposta no Quadro 5.3, diz respeito a valores médios europeus, o que significa que a conclusão deverá sofrer variações, quando aplicados valores específicos da realidade a que cada agente se encontre exposto. Mesmo assim, a madeira é um material capaz de trazer mudança climática desde que associado a políticas de reflorestação sustentada, tais como as que selos de preservação como o FSC (do inglês Forest Stewardship Council), pretendem disseminar.

Em suma, poderá concluir-se que a madeira tanto para casos de construção geral como para o caso prático do capítulo 5, apresenta qualidades que poderão estar alinhadas com a gestão mais sustentável do planeta, desde que seja feita uma análise do ciclo de vida completa dos materiais disponíveis, aliada a políticas de gestão sustentável.

6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Relativamente ao caso prático, caso haja um interesse em seguir a mesma direção de desenvolvimento, seria importante continuar o aprofundamento do conhecimento nas seguintes áreas:

- Aperfeiçoamento e otimização da estrutura apresentada;
- Tipos de madeira, que poderão ter um menor impacto ambiental;
- Estudo completo do ciclo de vida dos materiais disponíveis;
- Estudo do comportamento mecânico do sistema completo de paredes, em programa de cálculo 3D (forças verticais e forças horizontais);
- Estudo do comportamento sísmico e acústico;
- Estudo do comportamento térmico;
- Estudo da durabilidade do novo sistema;
- Estudo da viabilidade económica;

Dando resposta a todos estes parâmetros, qualquer interveniente poderia efetuar uma decisão consciente e bem fundamentada.

7

Referências Bibliográficas

- [1] Santos, S. Pompeu. 2002. *Enclosure Masonry Wall Systems Worldwide*. CIB: London, UK.
- [2] U. S. Census Bureau - *Principal Type of Exterior Wall Material of New One-Family Houses Completed*, <http://www.census.gov/const/www/newresconstindex.html>.
- [3] Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril - *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Lisboa. 2006.
- [4] Hugo dos Santos de Jesus Pinto, Vítor. 2010. “Soluções de paredes leves incorporando placas de aglomerada madeira/cimento para edifícios de pequeno porte”. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. <http://hdl.handle.net/10216/60149>.
- [5] Arnheiter E. D., Harren. H. 2006. *Quality management in a modular world*. 1ª ed. Rensselaer Polytechnic Institute, Hartford Connecticut: Lally School of Management and Technology.
- [6] Baldwin C.Y, Clark. 2000. *The Power of Modularity*. 1ª ed. Cambridge: The MIT Press.
- [7] Oliveri, G. Mario. 1972. *Prefabricación o metaproyecto constructivo*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S. A.
- [8] LNEC. 2022. “Normalização”. <https://www.lnec.pt/pt/servicos/normalizacao-e-regulamentacao/normalizacao/#sp>.
- [9] Robert Ross. 2021. *Wood handbook wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-282. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- [10] Gauzin-Müller, Dominique. 1990. *Le bois dans la construction*. Paris: Moniteur.
- [11] Domone, Peter. 2010. *Construction materials their nature and behaviour*. 4º ed. London: Spon Press.
- [12] Herzog, Thomas. 2004. *Timber construction manual*. Basel: Birkhäuser.
- [13] Silva, Ana Isabel da Costa e. 2014. *A Madeira na Arquitectura. Práticas Construtivas entre finais de Oitocentos e finais do Século XX*. Tese de Doutoramento. FAUP, Universidade do Porto.
- [14] Negrão, João H. 2011. *Estruturas de madeira em Portugal - Presente e passado recente*. Trabalho apresentado no CIMAD 11 - 1º Congresso Ibero-Latino americano da Madeira na Construção, Coimbra.
- [15] Bastos, Nuno. 2019. *Construção em Madeira - Preconceito Nacional ou Inadequação? Processos atuais: da conceção à execução*. Tese de Mestrado. FAUP. Universidade do Porto.
- [16] Correia, Alexandre Vaz, & Ângelo Carvalho Oliveira. 2003. *Principais Espécies Florestais com Interesse para Portugal. Zonas de influência atlântica*. Estudos e Informação n.º 322.
- [17] Gomes, Pedro Barbeitos Alves Torres. 2015. *Casa em Monção construção de madeira em Portugal*. Tese de Mestrado. FAUP. Universidade do Porto.

- [18] Jesus, Tânia Raquel Oliveira. 2013. *A casa como maquete 1:1. Novos processos de construção em madeira*. Tese de Mestrado. FAUP, Universidade do Porto.
- [19] França, José-Augusto. 1989. *A Reconstrução de Lisboa e a Arquitectura Pombalina*. 3ª ed. Vol. 12. Lisboa: Biblioteca Breve.
- [20] Mascarenhas, Jorge. 2004. *Sistemas de construção descrição ilustrada e detalhada de processos construtivos utilizados correntemente em Portugal*. Lisboa: Livros Horizonte.
- [21] Lopes, Mário. 2012. *Estrutura Sismo-resistente da Gaiola Pombalina: Passado e Futuro*. Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria, Lisboa.
- [22] Tobriner, Stephen. 2004. *A Gaiola Pombalina O sistema de construção anti-sísmico mais avançado do século XVIII*. Monumentos Revista Semestral de Edifícios e Monumentos (21).
- [23] Oliveira, Ernesto Veiga de., & Fernando Galhano. 1992. *Arquitetura tradicional portuguesa*. 1ª ed. Lisboa: Dom Quixote.
- [24] Wittmann, Angelina. 2016. *Fachwerk, a técnica construtiva enxaimel*. <https://www.vitruvius.com.br/revistas/read/projetos/16.187/6131>.
- [25] Fernandes, Francisco Barata. 1999. *Transformação e permanência na habitação portuense as formas da casa na forma da cidade*. 2ª ed. Universidade do Porto: FAUP Publicações.
- [26] Buck, Dietrich, Alice Wang, Olle Hangman, & Anders Gustafsson. 2016. *Conventional assembly layup of cross-laminated timber (CLT 90°)*. Trabalho apresentado na World Conference on Timber Engineering.
- [27] Andrew Waugh, Karl Heinz Weiss, Matthew Wells. 2009. *A Process Revealed*. Murray & Sorrell FUEL.
- [28] Catarina Silva, Jorge M. Branco e Paulo B. Lourenço. 2012. *MLCC na Construção em Altura*. Congresso Construção, Coimbra.
- [29] Paulo B. Lourenço, Jorge M. Branco, Helena Cruz e Lina Nunes. 2013. *Casas de Madeira. Módulo – Edifícios construídos com painéis de madeira lamelada-colada cruzada (X-Lam)*. Seminário LNEC, Lisboa.
- [30] Structure Magazine. 2019. *Crosslam timber / CLT - Fire resistance and rating*. <http://www.greenspec.co.uk/building-design/crosslam-timber-fire-resistance-and-rating/>.
- [31] Costa, Ana Alexandra Pontes da. 2013. *Construção de edifícios com Cross Laminated Timber (CLT)*. Tese de Mestrado. FEUP, Universidade do Porto.
- [32] Sarma, Kapilan. 2017. *Quantitative Fire Engineering Assessment Methods for Mass Timber*. Trabalho apresentado na Fire Australia Conference & Tradeshow.
- [33] Holz, Schilliger. 2022. “Madeira Colada”. <https://www.schilliger.ch/produkte/leimholz/>
- [34] Buildings, Cree. 2022. “Cree Buildings”. <https://www.creebuildings.com/>
- [35] Tom Place, Clara Perkins, Lucy Caine. 2021. *Mass timber embodied carbon factors*. <https://www.istructe.org/resources/blog/mass-timber-embodied-carbon-factors/#:~:text=The%20new%20figures%20recommended%20are,for%20CLT%20and%20glulam%20respectively.>
- [36] American Galvanizers Association. *Life-Cycle Assessment*. <https://galvanizeit.org/hot-dip-galvanized-steel-for-parking-structures/environmental-advantages/life-cycle-assessment>.