

**Casas de Madeira**



# Casas de Madeira

## *Livro de Atas*

Lisboa

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

17 de Abril 2013

Editado por:

Paulo B. Lourenço, Jorge M. Branco

*Universidade do Minho*

Helena Cruz, Lina Nunes

*Laboratório Nacional de Engenharia Civil*

## Organização



Universidade do Minho



## Patrocínios



## Exposição Técnica



## Apoios



storaenso



*Este livro foi elaborado a partir da reprodução direta dos originais preparados pelos autores. Os editores não podem assumir qualquer responsabilidade pelo conteúdo e por possíveis incorreções do texto.*

Depósito Legal: 357975/13 ISBN: 978-972-8692-82-7

Universidade do Minho

Departamento de Engenharia Civil, Azurém, P-4800-058 Guimarães

Tel.: 253510200 Fax: 253510217 Email: [sec.estruturas@civil.uminho.pt](mailto:sec.estruturas@civil.uminho.pt)

Impressão: Chapa 5

## **Prefácio**

As soluções construtivas integralmente em madeira são comuns em países do centro e norte da Europa (Áustria, Finlândia, etc). Aí a construção tradicional recorre à madeira para as mais variadas aplicações estruturais e não estruturais. Em Portugal, apesar do renascer de algum interesse deste tipo de arquitetura, a utilização de soluções construtivas integralmente em madeira está ainda concentrada nas habitações unifamiliares, casas. Nos últimos anos foram várias as empresas que lançaram no mercado nacional, soluções habitacionais em madeira, na sua maioria, explorando o carácter ambiental da madeira através de soluções prefabricadas e modulares. Os esforços técnicos desenvolvidos têm-se centrado no desenvolvimento das soluções construtivas e na verificação da estabilidade das mesmas.

Este seminário pretende constituir um fórum de discussão de ideias e soluções no domínio das casas de madeira, com a apresentação das tendências mais recentes, permitindo estabelecer a ponte com as soluções mais tradicionais e algumas reflexões sobre aspetos técnicos de desempenho, eficiência energética e sustentabilidade na construção.

Esta publicação reúne contribuições de diversos especialistas, nacionais e estrangeiros. As comunicações abordam os aspetos principais relativos ao panorama nacional do sector das casas de madeira, abrangendo a legislação, a durabilidade, o comportamento ao fogo e aos sismos. Especial atenção é dada à eficiência energética e à avaliação da sustentabilidade. São apresentadas várias realizações nacionais e estrangeiras, cujo valor tem vindo a ser reconhecido com a atribuição de alguns prémios nacionais e internacionais.

Abril 2013



## ÍNDICE

Casas de madeira – Panorama nacional, certificação e homologação <i>Helena Cruz</i>	1
Avaliação experimental do comportamento sísmico de casas de madeiras <i>Paulo B. Lourenço, Jorge M. Branco, Nuno Mendes, Alfredo Costa, Paulo Candeias</i>	13
Bases para a monitorização do risco de degradação na construção de casas de madeira <i>Lina Nunes</i>	29
The use of wood in construction: Fire safety <i>Birgit Östman</i>	39
Edifícios construídos com painéis de madeira lamelada-colada cruzada (X-Lam) <i>Luís Jorge</i>	49
Análise de ciclo de vida de casas de madeira <i>Helena Gervásio</i>	63
Casas de madeira. Da tradição aos novos desafios <i>Jorge M. Branco</i>	75
Phantasies with massive wood modules <i>Hanspeter Kuster</i>	87
Modern architecture with CLT <i>Julia Ahvenainen</i>	93
Energy and digital means of production <i>Rodrigo Rubio</i>	107
Sustentabilidade e Independência Energética: o papel da Arquitetura...VIVA (a solução CEM). <i>Manuel Vieira Lopes</i>	117
Arquitetura: conceito e preconceito <i>Marta Brandão e Mário Rebelo de Sousa</i>	135
Casa de Adropeixe – Uma casa quase de madeira <i>Carlos Castanheira</i>	145





## **Casas de madeira – Panorama nacional, certificação e homologação**

Helena Cruz

*Núcleo de Estruturas de Madeira, Laboratório Nacional de Engenharia Civil*  
helenacruz@lnec.pt

### **SUMÁRIO**

Esta comunicação refere sucintamente o peso da construção de casas de madeira no mercado internacional da habitação, razões para a sua penetração em diferentes países e alguns exemplos paradigmáticos de situações que afetam a evolução do mercado. Discute algumas limitações à expansão da construção não industrializada e destaca alguns dos resultados de um estudo recente que pretendeu caracterizar a oferta de casas de madeira em Portugal. Apresenta exemplos que permitem salientar a importância da qualidade das construções de madeira. Por último refere, de forma genérica, o enquadramento normativo e os procedimentos conducentes à apreciação técnica de sistemas de construção e a emissão de DHs e ETAs.

### **PALAVRAS-CHAVE: EXIGÊNCIAS, QUALIDADE, MERCADO, HOMOLOGAÇÃO**

#### **1. O MERCADO INTERNACIONAL – IMPULSOS E REVESES**

A construção de casas de madeira não é um conceito novo, embora tenha havido um crescimento acentuado deste tipo de construção nos anos 60 e 70 do século passado, um pouco por todo o mundo, com o surgimento de sistemas industrializados.

A utilização de madeira em estruturas e, em particular, a maior ou menor implantação de casas de madeira nos diversos países sempre dependeu naturalmente da disponibilidade de madeiras face à oferta dos outros materiais alternativos, do clima (na medida em que pode afetar o ritmo da construção, determinar diferentes ações e riscos de degradação das construções e condicionar as necessidades de proteção e conforto térmico) bem como de questões culturais e sociais.

O UKTFA market report 2005 [1] estimava que cerca de 70% das pessoas do “mundo desenvolvido” viveriam em casas com estrutura de madeira. Avançava ainda que, nos EUA e no Canadá, teriam estrutura de madeira cerca de 90% dos edifícios de pequena altura.

Estes valores confirmam os referidos pelo documento [2] o qual, em 2000, estimava que, no conjunto de todos os países desenvolvidos, deveria haver cerca de 150 milhões de casas com estrutura de madeira (correspondentes a 70% das casas de habitação existentes). Este documento mencionava também que a construção em madeira correspondia a mais de 90% da construção total da habitação na Noruega, na Suécia e na Austrália, 45% no Japão, 10% na Irlanda e apenas 8% no Reino Unido.

Gustavsson et al [3] apontava, em 2006, percentagens significativas de utilização de madeira em edifícios unifamiliares e bifamiliares semelhantes: 90 a 94%, nos EUA, 76 a 85% no Canadá, 80 a 85% nos países nórdicos e 60% na Escócia.

É curioso notar que a quota relativamente pequena de casas de madeira no Reino Unido não corresponde de todo à ideia correntemente veiculada de uma grande implantação deste tipo de construção em habitação unifamiliar. Estes sistemas foram introduzidos gradualmente a partir dos anos 20 do século passado, crescendo significativamente a seguir à 2ª Grande Guerra. Porém, a evolução deste mercado nos últimos 30 anos serve para ilustrar como uma situação aparentemente consolidada pode ser deitada a perder rapidamente e com consequências desastrosas.

Com efeito, em 1982, cerca de 27% da habitação no Reino Unido tinha estrutura de madeira. A publicidade adversa relativa a estas casas, resultante de uma reportagem transmitida pela televisão em 1983, que salientava a ocorrência de erros de execução e deficiente comportamento em serviço, veiculou um cenário muito negativo e graves preocupações quanto à durabilidade das casas de madeira. Embora tendo mostrado uma visão enviesada da realidade e preocupações em grande parte injustificadas, essa reportagem abalou a confiança do mercado e provocou uma queda abrupta da quota das casas de madeira para cerca de 6% nos anos subsequentes (já contando com uma elevada contribuição da Escócia para esse número). Este programa, aliado ao abrandamento do mercado da habitação devido à recessão económica, tiveram um impacto brutal no setor, com consequências duradouras.

Só próximo do virar do século o mercado conseguiu finalmente mostrar sinais de recuperação. Estatísticas recentemente publicadas pela UK Timber Frame Association [4] referem que a parcela de casas com estrutura de madeira subiu de forma consistente entre 1998 (com cerca de 8%) e 2008 (quando atingiu quase 25%, sendo então na Escócia, superior a 75%), para se ressentir nos anos seguintes da crise na construção.

Relativamente ao total da construção nova colocada no mercado da habitação em 2009, as casas com estrutura de madeira corresponderiam a uma parcela de 24.4% no Reino Unido, com a seguinte distribuição: 67.8% na Escócia, 17% em Inglaterra, 21.6% no País de Gales e 10.1% na Irlanda do Norte. As previsões para 2012 apontavam para uma quota de mercado no Reino Unido de 25.4% do mercado total de habitação nova, sendo 18.5% investimento do setor privado e 58.1% habitação social.

O relatório recente da UK Timber Frame Association [5] indicava que, no Reino Unido, as casas com estrutura de madeira construídas em 2011 atingiram 30,656 unidades, prevendo que a percentagem de casas de madeira cresça mais rapidamente do que de outros tipos de construção. A indústria da construção parece reagir assim aos incentivos para aumentar a eficiência energética e sustentabilidade.

Em alguns países europeus, a revisão dos regulamentos que limitavam a altura da construção em madeira propiciou o projeto e a construção de edifícios residenciais de habitação coletiva em madeira com vários pisos. Noutros países têm sido adotadas medidas que estimulam a utilização de madeira na construção, impondo quotas mínimas [6].

As casas de madeira são especialmente populares em climas frios, onde estas devem ser construídas rapidamente e ter grande eficiência energética, transmitindo segurança e conforto aos ocupantes durante todo o ano. Mas têm vindo a ser usadas de forma eficiente também noutras regiões, em climas quentes e húmidos, incluindo, por exemplo, certas zonas da Austrália ou da Malásia, argumento que pode ser usado a favor da construção com madeira de forma mais generalizada.

## **2. O MERCADO NACIONAL DE CASAS DE MADEIRA**

### **2.1. Tendências**

Embora a utilização de madeira na construção tenha uma larga tradição em Portugal, não existe entre nós a tradição de construir integralmente em madeira. A reduzida penetração da construção de madeira em Portugal pode ser, em parte, justificada pelas temperaturas elevadas da estação quente, a maior propensão para o ataque biológico e a escassez de madeira de qualidade em contraponto à disponibilidade de outros materiais em abundância e de boa qualidade. A estas razões soma-se a reduzida mobilidade das famílias, a preferência por processos correntes de construção, a escassez de técnicos especializados, a reduzida formação ministrada nas universidades nacionais sobre o tema e a ausência de regulamentação específica [7].

Entre nós, a construção industrializada de casas de madeira teve um significativo desenvolvimento, sobretudo com a necessidade de fornecimento e montagem de um grande número de edifícios escolares, nos anos 70, em resultado do crescimento da população estudantil. Tendo sido inicialmente concebidos essencialmente para dar resposta rápida e temporária ao problema, acabou por verificar-se que muitas destas construções provisórias ainda hoje permanecem em serviço. A diminuição da procura de edifícios para este fim veio obrigar o mercado a redefinir-se, a partir dos anos 80 e 90, com a oferta subsequente de sistemas de construção destinados sobretudo ao mercado da habitação.

As preocupações crescentes com o ambiente e a utilização sustentável de recursos trouxeram recentemente um novo impulso ao mercado da construção em madeira, também em Portugal. Às casas de madeira associa-se a ideia de conforto, de comportamento ambientalmente responsável e de um produto diferenciado. A versatilidade da madeira e a variedade da oferta do mercado permitem ir ao encontro, quer do gosto mais tradicional e bucólico, quer de uma estética mais contemporânea e sofisticada, satisfazendo distintos utilizadores.

Para além do mercado da habitação unifamiliar, a construção de edifícios de madeira destinados ao comércio e turismo, designadamente instalações hoteleiras e apoios de praia tem vindo a assumir um papel de relevo, com grande visibilidade.

### **2.2. A construção industrializada**

No âmbito de um trabalho de investigação desenvolvido no LNEC, foi realizado um estudo que pretende caracterizar a oferta de casas de madeira em Portugal, centrado nas empresas que as projetam, fabricam, constroem e comercializam. Para recolher a informação necessária, foi desenvolvido e aplicado um inquérito às empresas, complementado com visitas e entrevistas [8].

Numa análise preliminar, foram identificadas cerca de 100 empresas ligadas às várias atividades definidas no âmbito do estudo (i.e., projeto, fabrico, construção e comercialização de casas de madeira – entendidas como edifícios residenciais unifamiliares em madeira). Os autores cruzaram a informação disponível, sobretudo em sítios na Internet de empresas que anunciavam o produto “casa de madeira”, do Instituto Nacional de Estatística (INE), do Instituto dos Registos do Notariado (IRN) e da Associação das Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal (AIMMP), dado que nenhuma destas entidades dispunha de uma listagem específica e completa de empresas ligadas ao sector das casas de madeira.

Perante a impossibilidade de contactar algumas das empresas inicialmente identificadas e após um melhor esclarecimento das suas áreas de atividade, foram subsequentemente validadas 66 empresas que constituíram o universo de Inquirição, tendo o inquérito sido lançado durante o ano de 2011. O estudo aborda, além das características das empresas, os sistemas construtivos, os processos de licenciamento e certificação, o mercado atual, os clientes, as perspetivas de evolução do setor e o papel dos arquitetos, dando uma imagem abrangente do setor, que pode ser consultada em [8].

Destacam-se seguidamente alguns aspetos apurados nesse estudo:

- as empresas que atuam no setor das casas de madeira são, na generalidade, microempresas e empresas de pequena dimensão situadas no Centro e Norte do País;
- grande parte das empresas surgiu desde 2006, e mais de metade das empresas passou a dedicar-se ao sector das casas de madeira numa data posterior ao início da sua atividade;
- o total das casas de madeira construídas em Portugal até 2011, pelas empresas que responderam ao questionário, era de cerca de 3.600 unidades.
- a maioria das empresas combina o projeto especializado, a fabricação, a construção e a comercialização;
- mais de 3/4 das empresas afirmam que desenvolvem produtos e marcas próprios e mais de 1/2 adotam sistemas construtivos desenvolvidos inteiramente pela própria empresa;
- estima-se que cerca de 1/3 da produção nacional de casas de madeira se destine à exportação;
- os fatores que suscitam maiores dúvidas aos clientes são a segurança e o desempenho;
- metade das empresas considera o licenciamento um procedimento variável e subjetivo
- a certificação é avaliada como positiva, embora as empresas sejam críticas quanto ao custo e à complexidade do processo.

Morgado et al [7] sustentam que, tendo em conta a grande variedade de produtos oferecidos pelo mercado, alguns bastante inovadores, é fundamental conhecer as potencialidades e limitações de cada sistema e perceber a sua adequação para cada situação que se depara ao consumidor. Além disso, conforme é reconhecido pela maioria das empresas, as casas importadas de outros países necessitam de algumas adaptações, de modo a melhor se adequarem ao contexto nacional. Consideram que o aumento da competitividade destas empresas poderá passar pelo aperfeiçoamento dos produtos, pela diversificação da oferta e dos mercados, com apostas na reabilitação e na exportação e pelo investimento em publicidade fundada em argumentos técnicos devidamente comprovados.

### **2.3. A construção não industrializada de madeira**

O cálculo da capacidade resistente dos elementos estruturais das casas de madeira deve ser realizado segundo a norma EN 1995-1-1:2004 e respetiva emenda EN 1995-1-1:2004/A1:2008 (Eurocódigo 5) [9], sempre que aplicável, considerando-se as propriedades mecânicas correspondentes às respetivas classes de resistência. Na análise de segurança estrutural devem ser consideradas as ações relevantes definidas no Regulamento

de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 235/83, de 31 de maio [10].

Em sistemas estruturais razoavelmente complexos, como é o caso dos edifícios, são da maior importância a pormenorização, a execução e a montagem, aspetos que não encontram resposta nos eurocódigos (que incidem sobre a verificação da segurança e têm um caráter exigencial, não prescritivo), cabendo essa tarefa e responsabilidade ao arquiteto. Também os outros aspetos do desempenho da construção de casas de madeira, nomeadamente os ligados à segurança ao fogo, ao comportamento térmico e acústico, ao ambiente interior e à durabilidade implicam bons conhecimentos técnicos, sensibilidade e experiência por parte dos intervenientes, no que se refere ao dimensionamento, mas também aos materiais, aos processos de construção e à pormenorização, que são específicos e assumem uma complexidade maior neste caso do que na construção tradicional corrente em alvenaria.

São conhecidos em Portugal numerosos exemplos de casas de madeira construídas fora de sistemas industrializados, que constituem, contudo, uma parcela muito residual do parque edificado. Seria conveniente apostar no reforço da formação universitária neste domínio, na formação técnica específica de construtores e operários, numa melhor e maior oferta de materiais com qualidade garantida e na compilação e disseminação de regras de pormenorização e construção adaptadas à realidade nacional, potenciando a oferta deste tipo de realizações e garantindo níveis de qualidade adequados para não comprometer a sua imagem e crescimento sustentado no mercado.

### **3. OUTRAS EXPERIÊNCIAS – A IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE**

Em países onde a construção em madeira é tradicional, supõe-se que o meio técnico domina as chamadas regras de boas práticas, tenham estas ou não peso regulamentar. Frequentemente, este conhecimento encontra-se transposto em regulamentos, de que é exemplo o International Building Code, IBC [11], dos EUA, um regulamento de construção “model code” abrangente, que estabelece regras mínimas para a construção de edifícios, combinando provisões prescritivas e exigenciais, fundamentada em princípios gerais que permitem a utilização de novos materiais e processos de construção. Abrangendo aspetos como o desempenho estrutural, a segurança ao fogo, o ambiente interior, a eficiência energética, a durabilidade, o controlo de qualidade e a segurança na construção, o IBC cobre o dimensionamento, os materiais, os processos de construção e a pormenorização, apresentando inúmeros exemplos práticos de soluções construtivas que dão cumprimento aos princípios estabelecidos [12].

A primeira edição do International Building Code (2000) foi o culminar de um esforço iniciado em 1997 pelo ICC – the International Code Council na época, incluindo o Building Officials and Code Administrators International, Inc. (BOCA), o International Conference of Building Officials (ICBO) e o Southern Building Code Congress International (SBCCI). A intenção era criar um conjunto abrangente de regulamentos para edifícios que pudessem ser adotados pela generalidade dos países, uniformizando as exigências mínimas aplicáveis à construção de edifícios.

A forte destruição de casas causada pelo furacão Katrina mostra que, mesmo após largos anos de experiência de utilização de construção em madeira, convertidos em procedimento tradicional, e mesmo na presença de regras e regulamentos, a falta de formação dos intervenientes, a falta de controlo de qualidade, a negligência e desatenção aos pormenores podem implicar graves riscos. Inegavelmente, a autoconstrução e a construção não

industrializada de edifícios de madeira, pela natureza mais “artesanal” dos procedimentos envolvidos, apresenta um maior risco de erros ou omissões, recaindo uma maior responsabilidade sobre o projetista e o responsável pela construção e fiscalização, funções por vezes asseguradas pela mesma pessoa.

A passagem do furacão Katrina pelo Golfo do México em Agosto de 2005 destruiu ou tornou inabitáveis mais de 300.000 casas na região costeira do Golfo. Fora das zonas inundadas, o vento, a chuva e os detritos lançados pelo vento causaram extensos danos nas construções, entre elas um grande número de edifícios aligeirados com estrutura de madeira, que correspondem ao sistema de construção corrente de edifícios unifamiliares realizados muitas vezes em regime de auto-construção.

Sem pôr em causa a extrema violência da tempestade, a análise dos danos [13] infligidos a estas casas e respetivos pormenores construtivos permitiria no entanto concluir que a devastação se deveu em grande medida a deficiências sistemáticas presentes nos edifícios, relevantes para a sua resistência ao vento, e que esta teria sido muito menor se a construção tivesse seguido os princípios e normas regulamentares de dimensionamento e de construção vigentes [14].

Foram apontadas por esse estudo [13] as seguintes deficiências: a) inadequada fixação do revestimento da cobertura; b) inadequada ancoragem entre cobertura e paredes e entre paredes e fundação (em algumas zonas, por falta de exigências regulamentares quanto à aplicação de ancoragens contra o levantamento e derrubamento das paredes e coberturas); c) inadequada integridade das paredes (por exemplo, placas de revestimento nem sempre adequadamente pregadas à estrutura interna das paredes e à fundação, por espaçamento de pregagem excessivo); d) inadequada resistência dos materiais de revestimento da cobertura (arrancamento); e) insuficiente fixação do revestimento exterior das asnas extremas da cobertura (arrancamento do revestimento das asnas extremas, sobre a parede, dando, em muitos casos, início ao colapso parcial ou total da estrutura); f) baixa resistência de portas e janelas ao impacto de detritos transportados pelo vento; g) má fixação de revestimentos cerâmicos e baixa resistência de paredes de alvenaria (que contribuíram para a produção de detritos voadores).

Estudos conduzidos pelo Hurricane Center da Louisiana State University [15] permitiram concluir que a implementação, a 100%, apenas da protecção das aberturas, poderia ter reduzido em 45% os prejuízos causados pelo furacão. A implementação a 100%, apenas da fixação do revestimento da cobertura poderia ter reduzido em 20% os prejuízos. A implementação a 100% das ligações paredes-cobertura reduziria em 11% os prejuízos, sendo semelhante ao efeito da impermeabilização da cobertura. A implementação conjunta destas medidas, que na prática configuram regras de boa conceção e execução, ter-se-ia traduzido, segundo este estudo, numa redução de 79% dos prejuízos, mesmo no cenário mais pessimista considerado.

Se em sociedades onde uma limitada vida útil das construções é aceitável, nomeadamente pela grande mobilidade das famílias, desastres desta magnitude abalam a imagem da construção em madeira, noutros países onde as casas se pretendem como bens duradouros a transmitir às gerações vindouras, acidentes suscetíveis de acarretar publicidade negativa podem ter um impacto verdadeiramente demolidor.

Um outro caso que merece a pena referir corresponde à grande implantação das casas de madeira na Escócia no panorama do Reino Unido e à forma como este mercado reagiu à publicidade negativa que afetou de forma tão dramática o mercado do Reino Unido a seguir a 1983. Com efeito, na Escócia o impacto fez-se sentir mas de forma mais ligeira (as quotas de mercado mantiveram-se entre 30 e 40% na fase mais negra) começando a recuperar mais rapidamente.

Diversas razões podem ser apontadas para a diferenciação do mercado escocês. Tendo a Escócia um clima mais rigoroso do que o sul do Reino Unido, as casas de madeira são reconhecidas como conduzindo a menores consumos de energia para aquecimento. Por outro lado, sendo a autoconstrução uma opção atraente para a população, o recurso à construção em madeira oferece vantagens pela disponibilidade e leveza dos materiais. O cliente/construtor, que conhece bem e tem um bom domínio das técnicas de construção, é consequentemente mais maduro e menos influenciável por publicidade negativa.

Outro fator que pesou fortemente na confiança por parte dos utilizadores neste tipo de construção prende-se com o facto de as normas técnicas aplicáveis à construção serem mais exigentes na Escócia do que no resto do Reino Unido, além da introdução da obrigatoriedade de realizar ensaios complementares, designadamente relativos ao comportamento acústico das construções. Obrigando a uma maior clareza dos desenhos de execução, maior capacidade do pessoal técnico envolvido e mais apurado controlo do processo construtivo, os fortes níveis de exigência na Escócia motivaram elevados padrões de qualidade e consequentemente maior confiança nesta técnica de construção por parte do público.

A qualidade e a confiança na construção de estruturas de madeira assenta assim em três vertentes: i) a existência de regulamentos e documentos normativos de suporte ao dimensionamento, pormenorização, execução e montagem; ii) a formação de todos intervenientes no processo de construção; iii) formas de controlo e garantia de qualidade adequados.

Embora estes aspetos possam ser assegurados na construção não industrializada, certamente que a industrialização permitirá mais facilmente acautelar a qualidade dos projetos e o bom desempenho das construções, de uma forma mais económica.

## **4. GARANTIA DA QUALIDADE, DHs E ETAs**

### **4.1. Enquadramento**

De acordo com o RGEU, na atual redação do seu Artº 17º [16], “as edificações devem ser construídas e intervencionadas de modo a garantir a satisfação das exigências essenciais de resistência mecânica e estabilidade, de segurança na sua utilização e em caso de incêndio, de higiene, saúde e proteção do ambiente, de proteção contra o ruído, de economia de energia, de isolamento térmico e das demais exigências estabelecidas no presente Regulamento ou em legislação específica, nomeadamente de funcionalidade, de durabilidade e outras. A qualidade, a natureza e o modo de aplicação dos materiais utilizados na construção das edificações novas e nas intervenções devem respeitar as regras de construção e da regulamentação aplicável, garantindo que as edificações satisfaçam as condições e exigências referidas...”.

As exigências essenciais das obras devem, em condições normais de manutenção, ser satisfeitas durante um período de vida útil economicamente razoável e referem-se geralmente a fatores previsíveis.

O RGEU refere ainda que “A utilização de produtos da construção em edificações novas, ou em intervenções, é condicionada, nos termos da legislação aplicável, à respetiva marcação CE ou, na sua ausência, (...) à certificação da sua conformidade com especificações técnicas em vigor em Portugal. Nos casos em que os produtos de construção não preencham nenhuma das condições previstas (...) e sempre que a sua utilização (...) possa comportar risco para a satisfação das exigências essenciais indicadas (...), fica a

mesma condicionada à respetiva homologação pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, devendo este dispensá-la se tais produtos possuírem certificados de conformidade emitidos por entidade aprovada em Estado membro da União Europeia, na Turquia ou em Estado subscritor do acordo do espaço económico europeu que atestem suficientemente a satisfação das referidas exigências”.

Na homologação prevista no número anterior, deve “o LNEC ter sempre em consideração (...), os certificados de conformidade, os ensaios e as inspeções emitidos ou efetuados por uma entidade aprovada em Estado membro da União Europeia, na Turquia ou em Estado subscritor do acordo de espaço económico europeu, bem como cooperar com aquelas entidades na obtenção e análise dos respetivos resultados.”

Na legislação em vigor [17], entende-se por “produtos de construção – os produtos destinados a ser incorporados ou aplicados, de forma permanente, nos empreendimentos de construção” entendendo-se a “colocação do produto no mercado – a primeira vez que um produto é colocado à disposição, no mercado comunitário, a título gratuito ou oneroso, com vista à sua distribuição ou utilização na Comunidade”.

Para este efeito, consideram-se especificações técnicas as normas nacionais que transponham normas harmonizadas e as Aprovações Técnicas Europeias (ETA). A aprovação técnica europeia consiste numa apreciação técnica favorável da aptidão ao uso de um produto (para o qual não exista Norma Europeia Harmonizada), estabelecida com base nas exigências essenciais das obras de construção onde esse produto seja incorporado. Baseia-se em análises, ensaios e demais condições indicados nos documentos interpretativos referidos na Diretiva nº89/106/CEE [18], bem como, nomeadamente, nos guias elaborados pela EOTA (ETAGs) relativos ao produto em causa ou à família de produtos a que pertence.

Para mais informação sobre estas questões, sugere-se a consulta da página do LNEC na internet [19].

## 4.2. Apreciação e aprovação técnica de casas de madeira

As ETA aplicam-se fundamentalmente a produtos complexos e sistemas com um carácter inovador, incluindo aqueles que são colocados em obra sob a forma de um *kit*, para os quais será necessário estabelecer as respetivas regras de montagem. A aprovação técnica europeia de casas de madeira é enquadrada pelo ETAG 007 (Guideline for European Technical Approval of timber building kits) [20], sendo emitida a pedido do fabricante ou do seu mandatário.

Cada ETA é uma especificação técnica de carácter individual, relativa a um ou mais produtos específicos do mesmo tipo produzidos por um determinado fabricante. Associa duas funções: a definição do produto e das suas características (função inerente a uma especificação técnica harmonizada) e uma apreciação favorável da sua aptidão ao uso.

As Aprovações Técnicas Europeias são concedidas por organismos designados para o efeito pelos respetivos Estados-membros, agrupados na Organização Europeia de Aprovação Técnica (EOTA). Portugal encontra-se representado na EOTA pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Note-se que, uma vez emitida, a ETA é válida em todos os países do Espaço Económico Europeu por um período de cinco anos, renovável. Após a concessão de uma ETA, o produto em causa está em condições de obter a marcação CE, possibilitando assim a sua circulação no Espaço Económico Europeu [19]. No início de abril de 2013, havia na europa 67 sistemas de construção com ETAs válidos.

Para sistemas de construção que não sejam detentores de uma ETA o LNEC poderá em alternativa emitir um Documento de Homologação (DH). Embora os DHs sejam



essencialmente dirigidos ao mercado nacional, a apreciação feita inclui, além daquela que consta na ETA, uma referência explícita ao cumprimento da regulamentação nacional aplicável.

Ambos os documentos incluem normalmente uma descrição geral, a enumeração das suas características, o campo de aplicação, a apreciação – efetuada tendo em conta os resultados dos ensaios realizados e as observações decorrentes de visitas às instalações de fabrico, a obras em curso e a construções em uso –, regras para o seu armazenamento, transporte e aplicação em obra, e as características e respectivas tolerâncias a avaliar no âmbito da realização de eventuais ensaios de receção.

No caso de sistemas de construção homologados pelo Instituto Homologador do seu país de origem e desde que esse Instituto seja membro da União Europeia para a Aprovação Técnica na Construção (UEAtc) deverá ser realizado um estudo pelo LNEC para confirmação dessa homologação [19].

A apreciação de um sistema de construção, realizada para efeitos de emissão de um DH é, no essencial, semelhante à requerida tendo em vista a emissão de uma ETA. Em ambos os casos, são tidos em conta eventuais ensaios e relatórios de apreciação relevantes, efetuados por entidades credíveis.

O ETAG 007 [20] estabelece as características dos *kits* relevantes para a sua aptidão ao uso, os métodos de apreciação e a forma como o desempenho deve ser expresso. Embora no âmbito da ETA seja permitida a opção “desempenho não determinado” (NPD) relativamente a alguns aspetos do desempenho, no âmbito da Homologação é necessário avaliar a generalidade dos aspetos acima indicados, para ser possível evidenciar a conformidade com a regulamentação nacional (Tabela 1).

No âmbito da ETA, componentes do *kit* tais como janelas, portas exteriores, isolamento térmico, revestimentos cerâmicos, revestimentos dos paramentos interiores e revestimento da cobertura, que são essenciais para o desempenho da envolvente, podem não fazer parte do *kit*, mas devem ser especificados por forma a garantir a adequação ao uso do *kit*. A descrição pormenorizada das ligações entre esses componentes e o *kit* faz parte da descrição deste.

Com base na experiência adquirida, procura-se presentemente basear a apreciação, sempre que possível, num conjunto de ensaios abrangentes (por exemplo, o ensaio de avaliação do desempenho mecânico e funcional de fachadas fornece informação sobre a resistência de paredes exteriores a ações perpendiculares ao plano, a estanquidade à água e resistência a choques acidentais em paredes e a permeabilidade ao ar) capazes de fornecer informação relevante relativamente a vários requisitos essenciais, reduzindo desta forma o volume de ensaios parciais e cálculos justificativos das características do sistema, simplificando, tanto quanto possível, a apreciação subsequente.

Saliente-se que o processo de apreciação técnica possibilita a identificação de eventuais pontos fracos do sistema de construção e a implementação de melhorias. A aprovação técnica por organismo credível permite às empresas evidenciar a aptidão ao uso das suas casas e dispor de argumentos técnicos eficazes, junto dos consumidores, das entidades financiadoras e licenciadoras, sobre as condições de segurança, conforto e durabilidade dos seus produtos.

A apreciação preliminar de sistemas de construção, tendo em vista novas utilizações ou novos mercados, designadamente fora da Europa, baseada em pressupostos adequados no que se refere às exigências relativas à segurança, ao conforto e utilização, poderá também apoiar o desenvolvimento de soluções, técnica e economicamente viáveis, constituindo igualmente uma mais-valia, em termos de argumento comercial.

**Quadro 1** – Características dos *kits* relevantes para a sua aptidão ao uso, método de apreciação e expressão do desempenho (baseado no ETAG 007 [20])

Caraterística	Opção “NPD” permitida na ETA?	Expressão do desempenho
<b>Requisito Essencial 1 (RE1): Resistência mecânica e estabilidade</b>		
Resistência a cargas verticais e horizontais de paredes, pavimentos, coberturas e respetivas ligações	Não	Valores declarados
<b>Requisito Essencial 2 (RE2): Segurança contra incêndios</b>		
Reação ao fogo dos materiais e componentes	Sim	Classificação
Resistência ao fogo		
Desempenho ao fogo do revestimento exterior da cobertura		
<b>Requisito Essencial 3 (RE3): Higiene saúde e ambiente</b>		
Permeabilidade ao vapor e resistência à humidade	Sim	Desempenho declarado (na perspetiva do desempenho estimado para as construções)
Estanquidade à água: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Envolvente exterior</li> <li>• Superfícies interiores</li> </ul>	Não Sim	
Conteúdo e/ou libertação de substâncias perigosas	--	
<b>Requisito Essencial 4 (RE4): Segurança na utilização</b>		
Resistência ao escorregamento da superfície dos pavimentos	Sim	Valores declarados / desempenho declarado
Resistência a choques acidentais		
<b>Requisito Essencial 5 (RE5): Proteção contra o ruído</b>		
Isolamento a sons aéreos de paredes e pavimentos.	Sim	Valores declarados (na perspetiva do desempenho estimado para as construções)
Isolamento a sons de percussão de pavimentos		
Absorção sonora		
<b>Requisito Essencial 6 (RE6): Economia de energia e retenção de calor</b>		
Resistência térmica	Sim	Valores declarados (na perspetiva do desempenho estimado para as construções)
Permeabilidade ao ar		
Inércia térmica		
<b>Aspetos gerais relacionados com a aptidão para o uso</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durabilidade relativamente ao uso a que se destina o produto e a sua influência no desempenho declarado relativo aos Requisitos Essenciais 1 a 6</li> </ul>	Não	Desempenho declarado
Utilização: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deformações relacionadas com as capacidades resistentes declaradas no RE1</li> <li>• Vibrações em pavimentos</li> <li>• Assentamento das construções</li> </ul>	Sim	Valores declarados
Identificação dos materiais e componentes do sistema e das suas características e desempenho	Não	Declaração dos parâmetros de identificação e de desempenho

## 5. REFERÊNCIAS

- [1] The UK Timber frame Association. Market Report 2005. Disponível em WWW <<http://www.uktfa.com/download-documents/>>. Consultado em abril 2013.
- [2] Hastoe Housing Association. Sustainable Homes: Timber Frame Housing. 2000. Disponível em WWW <[URL:http://www.sustainablehomes.co.uk/Portals/63188/docs/Timber%20Frame%20Housing.pdf](http://www.sustainablehomes.co.uk/Portals/63188/docs/Timber%20Frame%20Housing.pdf)>. Consultado em abril 2013
- [3] Gustavsson, L.; Madlener, R.; Hoen, H.-F.; Jungmeier, G.; Karjalainen, T.; Klöhn, S.; Mahapatra, K.; Pohjola, J.; Solberg, B.; Spelter, H. – The role of wood material for greenhouse gas mitigation [Em linha]. *Mitigation and adaptation strategies for global change*. Volume 11, Number 5-6 (2006), pp. 1097-1127. Disponível em WWW <[URL:http://www.springerlink.com/content/f54084621n701027](http://www.springerlink.com/content/f54084621n701027)>. Consultado em abril de 2011.
- [4] The UK Timber Frame Association. Market Report 2009, prepared by Timbertrends, Issue 8, Out 2010. Disponível em WWW <[URL:http://www.forestryscotland.com/media/38870/2010\\_timbertrends\\_report\\_final\[1\].pdf](http://www.forestryscotland.com/media/38870/2010_timbertrends_report_final[1].pdf)>. Consultado em abril 2013
- [5] UK Timber Frame Association. Disponível em WWW <<http://www.ttjonline.com/market/self-build-and-eco-homes-ease-timber-frame-pressure>>. Consultado em abril 2013
- [6] Décret n° 2010-273 du 15 mars 2010 relatif à l'utilisation du bois dans certaines constructions. *Journal officiel de la République Française* [Em linha]. Texte 2 sur 118 (17 mars 2010). Disponível em WWW <[URL:http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/decret\\_2010\\_273\\_bois.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/decret_2010_273_bois.pdf)>. Consultado em abril 2013.
- [7] Morgado, Luís; Pedro, J. Branco; Cruz, Helena e Pontífice, Pedro - Projeto e construção de casas de madeira em Portugal. Jornadas LNEC. *Cidades e Desenvolvimento*. Junho 2012
- [8] Morgado, Luís; Pedro, J. Branco – Caracterização da oferta de casas de madeira em Portugal: Inquérito às empresas de projecto, fabrico, construção e comercialização. *Relatório n° 118/2011* – NAU. Lisboa: LNEC, 2011. 171 p.
- [9] EN 1995 1-1:2004. Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings. *European Standard*. CEN, Bruxelas, 2004 (e AC: 2006; A1:2008).
- [10] Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (Decreto-Lei n.º 235/83, de 31 de maio). *Diário da República*, I SÉRIE, N.º 125, p. 1991-2024.
- [11] International Building Code. *The International Code Council*. USA, 2000
- [12] Almeida, Paulo - Sistema construtivo de madeira em edifícios de baixa densidade em Portugal. Lisboa, *Faculdade de Arquitectura - UTL*, 2010.
- [13] Gopu, Vijaya; Levitan, Marc.: Impact of Hurricane Katrina on wood frame construction standards in the U.S. Gulf coast region. *Proceedings World Conference of Timber Structures (WCTE 2010)*. Riva del Garda, Junho 2010.
- [14] Cruz, Helena - Furacões e casas de madeira. Algumas razões para a destruição causada pelo Katrina. *Construção Magazine* n°39. Set-Out 2010
- [15] Levitan, M; Hill, C.: Residential wind damage in Hurricane Katrina – Preliminary estimates and potential loss reduction through improved building codes and construction practices. *LSU Hurricane Center*. Outubro 2005.

- 
- [16] Alteração ao Decreto-Lei nº 38382, de 7 agosto de 1951. (Decreto-Lei nº50/2008, de 19 de março). *Diário da República*, I Série, nº 56, p.1622-1623.
- [17] Alteração ao Decreto-Lei nº 113/93 de 10 abril (Decreto-Lei nº4/2007, de 8 de janeiro). *Diário da República*, I Série, nº 5, p. 116-126.
- [18] Directiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Novembro de 2008 relativa aos resíduos e que revoga certas directivas. *Jornal Oficial da União Europeia* [Em linha]. L312 (2008-11-22) pp. 3-30. Disponível em WWW <URL:<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:PT:PDF>>. Consultado em abril 2013.
- [19] LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Qualidade de Produtos e Empreendimentos → marcação [Em linha]. Lisboa: *LNEC*, 2012. Disponível em WWW <URL:<http://www.lnec.pt/qpe/marcacao>>. Consultado em abril 2013.
- [20] EOTA, ETAG 007 - Guideline for european technical approval of Timber building kits, Brussels: *European Organisation for Technical Approvals*, 2001.

## **Avaliação experimental do comportamento sísmico de casas de madeiras**

Paulo B. Lourenço, Jorge M. Branco, Nuno Mendes

*ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães*  
pbl@civil.uminho.pt, jbranco@civil.uminho.pt, nunomendes@civil.uminho.pt

Alfredo Campos Costa, Paulo Candeias

*Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas, Departamento de Estruturas, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa*  
alf@lnec.pt, pcandeias@lnec.pt

### **SUMÁRIO**

As casas de madeira estão a ter um desenvolvimento rápido na Europa devido a aspetos tais como a sustentabilidade e o elevado grau de industrialização e prefabricação, que se traduzem em facilidade e rapidez de montagem. Os sistemas mais tradicionais de estruturas de madeira e os sistemas inovadores recentes são agora aplicados não apenas no norte da Europa mas, crescentemente, no sul da Europa, onde a perigosidade sísmica é mais elevada. Neste artigo revêm-se brevemente o desempenho de edifícios de madeira em sismos recentes, definem-se os aspetos que caracterizam a ação sísmica na regulamentação europeia e apresentam-se os resultados de uma campanha extensa de ensaios realizados na mesa sísmica no Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

### **PALAVRAS-CHAVE: ESTRUTURAS, MADEIRA, SISMOS, DANOS, ENSAIOS**

#### **1. INTRODUÇÃO**

Um desastre é um evento provocado pela natureza ou pelo homem que causa grande dano físico, destruição ou perda de vidas humanas, ou uma alteração drástica no ambiente natural. A perigosidade representa o nível de ameaça à vida, propriedade ou ambiente. É importante compreender que a perigosidade não é relacionável com os danos, e que os desastres são a consequência de uma gestão do risco deficiente.

A gestão do risco implica, primeiro, a perceção e a comunicação do risco à sociedade. É depois essencial dispor de ferramentas adequadas de avaliação e diagnóstico, mas também de um conjunto de soluções possíveis, incluindo custos, para implementar uma estratégia de redução do risco. Nos últimos 30 anos, as perdas económicas com os desastres aumentaram dez vezes, enquanto os sismos provocaram 80000 mortos/ano na última década, ver Figura 1. De acordo com [1], os sismos causaram cerca de seis milhões de mortes em 500 anos (1500-2000). Na última década ocorreram vários sismos que individualmente causaram um número impressionante de mortes, como por exemplo o sismo no Haiti em 2010 (316 mil mortos) e o sismo na Indonésia em 2004 (228 mil mortos). Em Portugal, estima-se que o sismo de 1755 e o subsequente *tsunami* destruíram

cerca de 85% dos edifícios e causaram a morte de 25% da população de Lisboa (70000 mortos) [2]. No entanto, os sismos só por si dificilmente são responsáveis pela morte de pessoas, sendo o colapso dos edifícios a principal causa das mortes. Assim, as atenções devem ser conduzidas para o desempenho sísmico dos edifícios.

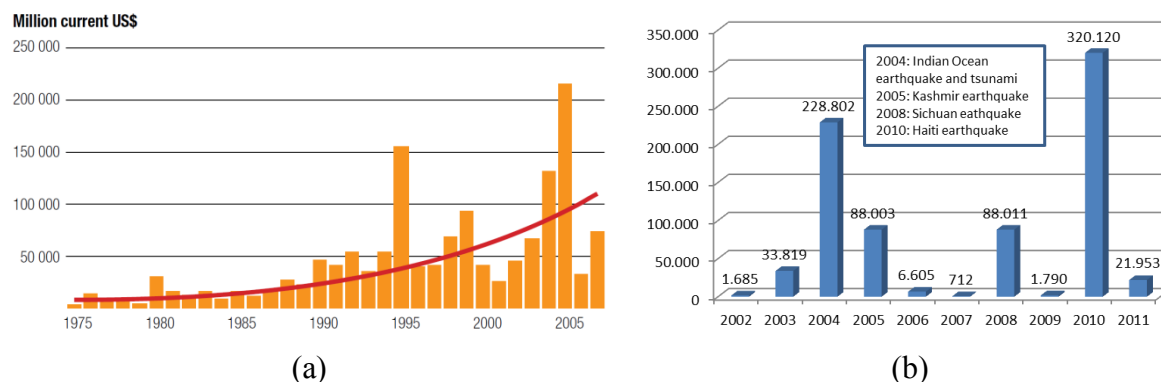


Figura 1 – Efeitos dos desastres: (a) Perdas económicas associadas a desastres naturais [2]; (b) Número de mortos em consequência de sismos nos últimos dez anos [3].

A experiência de projetar estruturas de madeira para os sismos, nomeadamente em altura, é moderada. Existe a convicção que a madeira, sendo um material leve e com resistência relativamente elevada, possuirá um bom desempenho em relação às ações sísmicas. Um exemplo recente pode ser encontrado em [4] para os sismos da Cantuária na Nova Zelândia em 2010-11. A avaliação do desempenho de 112 igrejas afetadas e construídas essencialmente nos últimos 150 anos, ver Figura 2, indica claramente a maior vulnerabilidade das construções em alvenaria (cerca de 85% danificadas), quando comparadas com as construções em madeira (cerca de 5% danificadas).

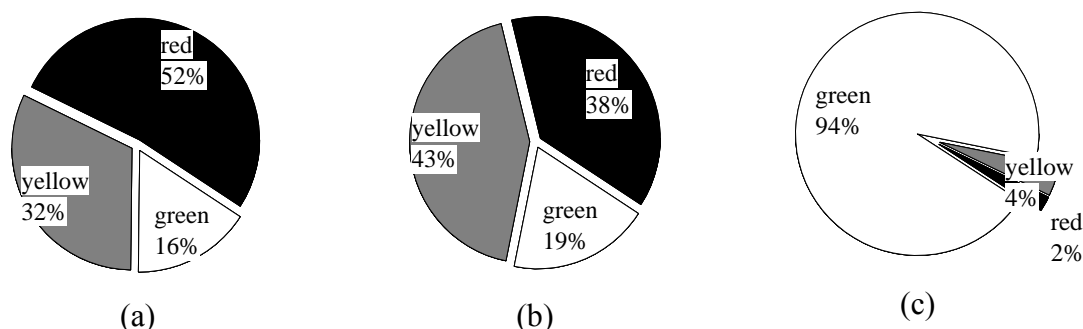


Figura 2 – Indicações dos placards colocados na Nova Zelândia para a série de sismos 2010-2011 (vermelho: edifício inseguro com acesso proibido; amarelo: segurança comprometida com acesso urgente permitido; verde: sem restrições): (a) Igrejas de pedra; (b) Igrejas de alvenaria de tijolo; (c) Igrejas de madeira [4].

É certo, no entanto, que não se pode afirmar que as estruturas de madeira são à prova de sismos. Seja porque os projetos são deficientes, seja porque o nível de conhecimento é insuficiente, seja porque a manutenção e conservação dos edifícios existentes é inadequada, seja porque a ação sísmica é superior ao expectável, ou seja pela combinação destes efeitos, têm-se observado danos importantes em estruturas de madeira, como se verá a seguir.

Por outro lado verifica-se uma vontade de construir cada vez mais alto utilizando estruturas de madeira. O edifício mais conhecido é provavelmente o *Stadthaus* na parte este de

Londres, realizado com paredes e lajes em madeira maciça com painéis bidirecionais de madeira lamelada colada cruzada, com arquitetura de Waugh Thistleton e engenharia de Techniker Ltd [5], ver Figura 3. Trata-se de um edifício de rés-do-chão mais oito pisos, construído em menos de seis meses (a estrutura em apenas um mês), em 2008, existindo já estudos para construções em grande altura. Refere-se ainda um edifício de seis pisos construído na zona com maior perigosidade sísmica da Nova Zelândia (Wellington), em 2004, recorrendo a vigas em I e contraplacado para as lajes, bem como paredes de contraventamento em contraplacado, ver Figura 4.

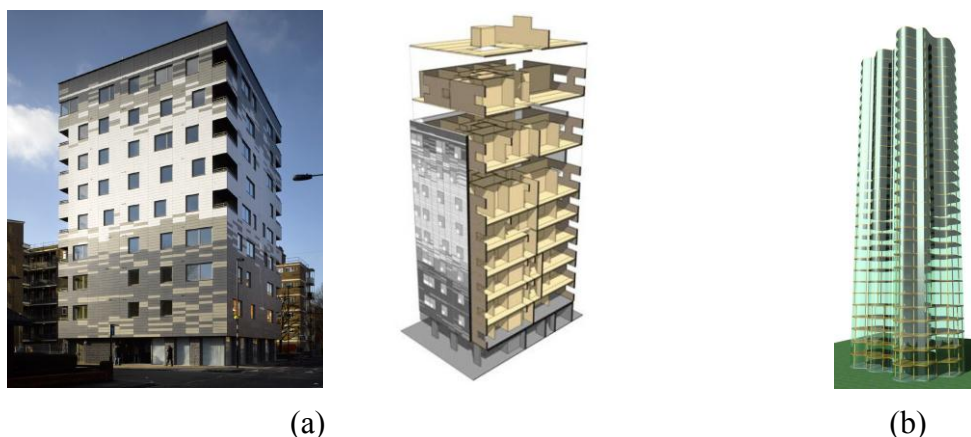


Figura 3 – Edifícios de madeira em altura: (a) *Stadthaus* em Londres, oito pisos, 2008; (b) Estudo para edifício de 25 pisos [5].



Figura 4 – Residência de estudantes na Nova Zelândia, 2004: (a) Imagem exterior; (b) Detalhe da estrutura [6].

Face aos desenvolvimentos recentes e à reduzida experiência normativa, justifica-se claramente um maior conhecimento sobre o comportamento sísmico das casas de madeira. Neste artigo, revê-se brevemente os danos verificados em estruturas de madeira em sismos reais, discute-se a ação sísmica e a normativa europeia, e descrevem-se ensaios realizados recentemente na mesa sísmica triaxial do Laboratório Nacional de Engenharia Civil tendo em vista validar quatro soluções diferentes comercializadas na Europa.

## 2. DESEMPENHO DOS EDIFÍCIOS DE MADEIRA NOS SISMOS DO JAPÃO

No sismo de Tohoku (Japão) em 2012 foram observados danos muito distintos devido às amplificações locais, incluindo [7]: (a) o colapso ou dano severo devido a deslizamentos dos solos ou rotura de paredes de contenção; (b) a rotação ou afundamento dos edifícios como resultado da liquefação dos solos; (c) o varrimento de casas pelo *tsunami* que se seguiu ao sismo; (d) alguns danos importantes em paredes ou pórticos, apesar de projetos presumivelmente adequados. Os danos (a-c) não estão diretamente ligados às estruturas de madeira, ainda que, dependendo das condicionantes locais, tenham de ser prevenidos e que o desempenho das estruturas de madeira possa ser significativamente pior nestes casos quando comparados com estruturas mais pesadas ou com maior redundância. Em geral, as maiores causas de dano em edifícios de habitações e lojas foram devidas à falta de elementos resistentes aos sismos, sendo que a deterioração natural e o problema das térmitas também assumiram um papel relevante, como ilustrado na Figura 5a, onde se ilustra o colapso integral de uma casa em madeira. A Figura 5b ilustra danos em construções patrimoniais em madeira, tendo sido reportados muitos danos em templos. Foram ainda observados casos de casas modernas, sem deterioração, que sofreram danos severos mas as modernas construções em madeira, projetadas de acordo com a regulamentação em vigor no Japão, tiveram bom desempenho.

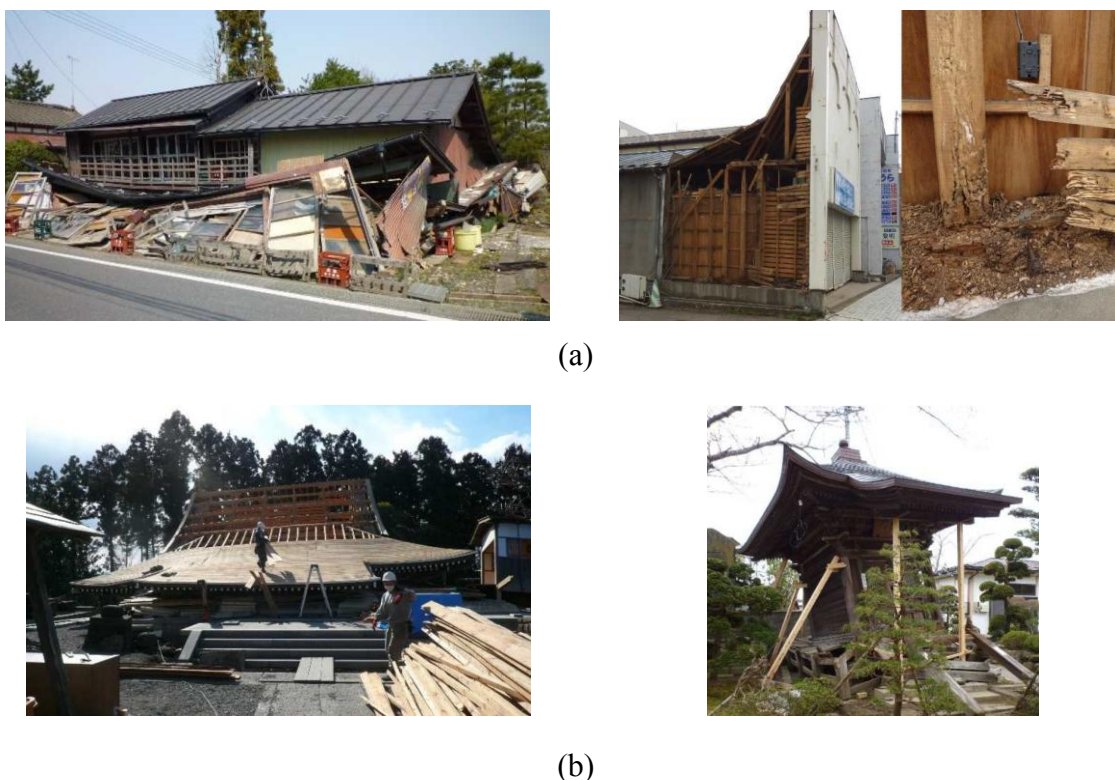


Figura 5 – Danos em estruturas de madeira no sismo de Tohoku, Japão (2011): (a) Casas de madeira; (b) Templos [7].

Neste contexto referem-se ainda os elevados danos que as estruturas tradicionais japonesas de madeira sofreram no sismo de Kobe em 1995 [8], ver Figura 6. As estruturas de madeira japonesas tradicionais foram desenvolvidas a partir de tradições antigas. No século XIX, Figura 7a, era notória a falta de elementos de travamento ou paredes resistentes ao corte, capazes de resistir a ações horizontais. Como consequência surgiram danos muito severos



no caso de sismos ou tufões. A partir de 1950, os elementos capazes de resistir a ações horizontais passaram a ser obrigatórios e métodos modernos de projeto e construção foram desenvolvidos. A Figura 7b mostra uma estrutura de madeira inspirada na construção tradicional. Mas a Figura 6 mostra que o desempenho no sismo de Kobe foi inadequado, essencialmente devido a problemas de torção (ignorados até esta data no Japão para edifícios com poucos pisos, onde apenas se considerava um mínimo de área de paredes resistentes ao corte em planta) e um piso excessivamente deformável (usualmente designado por *soft storey*).



Figura 6 – Danos em casas de madeira no sismo de Kobe, Japão (1995) [8].

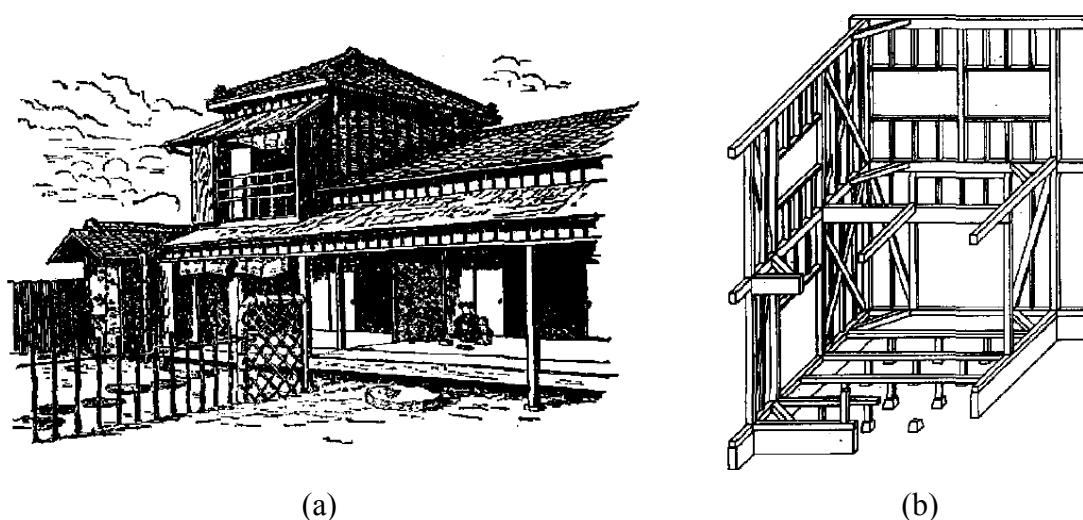


Figura 7 – Casas tradicionais japonesas: (a) Perspetiva; (b) Esquema estrutural [9].

### 3. CARACTERIZAÇÃO DA AÇÃO SÍSMICA

A caracterização da ação sísmica corresponde a um dos primeiros passos no dimensionamento sísmico de edifícios. As normas para dimensionamento e verificação da estabilidade de estruturas definem, em geral, a ação sísmica através de dois tipos de representações: (a) acelerogramas; (b) espectros de resposta. Os acelerogramas (Figura 8a) correspondem a séries de acelerações e são a representação mais direta da ação sísmica. Os acelerogramas podem ser gerados artificialmente, de acordo com as características definidas nas normas, podem ser simulados através de modelos numéricos ou podem corresponder a registos reais de sismos ocorridos no passado. Os espectros de resposta (Figura 8b) são uma representação gráfica da resposta máxima, por exemplo em aceleração, de um oscilador de um grau de liberdade, que tem em consideração as características da ação sísmica específicas ao caso em análise.

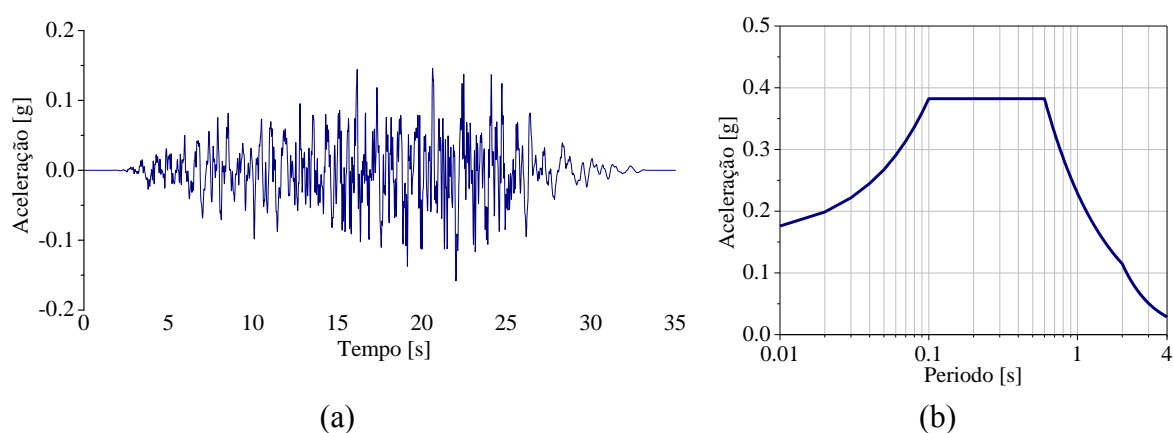


Figura 8 – Representação da ação sísmica; (a) Acelerograma; (b) Espectro de resposta.

O Eurocódigo 8 (EC8) é uma norma europeia, com aplicação em Portugal, para o projeto de estruturas para resistência aos sismos, constituída por seis partes, que tem como objetivos proteger a vida humana, limitar as perdas económicas e assegurar a operacionalidade de estruturas importantes para a proteção civil. De acordo com a Parte 1 do EC8 [10], as estruturas localizadas em regiões com perigosidade sísmica devem ser dimensionadas e construídas de forma a cumprir dois requisitos fundamentais: (a) requisito de não ocorrência de colapso; (b) requisito de limitação de danos. No requisito de não ocorrência de colapso, as estruturas sujeitas à ação sísmica de cálculo não devem colapsar, preservando a sua integridade estrutural e capacidade resistente residual após o sismo. No requisito de limitação de danos, as estruturas sujeitas a uma ação sísmica com probabilidade de ocorrência maior do que a da ação sísmica de cálculo devem apresentar danos limitados, ou seja, devem ser projetadas de forma a evitar danos estruturais e limitar os danos não estruturais. Assim, os requisitos regulamentares estão associados a intensidades sísmicas e períodos de retorno diferentes. O requisito de não ocorrência de colapso e o requisito de limitação de danos são verificados, em edifícios correntes, para uma ação sísmica com período de retorno de 475 anos e 95 anos, respetivamente.

Os requisitos regulamentares estão associados a dois tipos de estados limites: (a) estados limites últimos; (b) estados limites de utilização. Os estados limites últimos estão associados ao colapso global ou outros tipos de rotura estrutural que possam colocar em risco a segurança das pessoas (requisito de não ocorrência de colapso). Nestes estados limites deve-se verificar que a estrutura tem resistência e capacidade de dissipação de energia necessárias para se manter estável sob a ação sísmica de cálculo. Os estados limites

de utilização têm por objetivo limitar os danos (requisito de limitação de danos) através do controlo da deformação e outros limites aplicáveis, como por exemplo o controlo do deslocamento máximo de uma laje para controlo de danos em paredes divisórias.

A sismicidade é definida no EC8 através do valor de referência da aceleração máxima na base da estrutura num terreno rochoso ( $a_{gR}$ ). Os territórios nacionais são divididos em zonas sísmicas, admitindo-se que a sismicidade é constante em cada zona sísmica. Além disso, o EC8 considera dois tipos de sismos: (a) Tipo 1, que corresponde ao sismo afastado com magnitude das ondas de superfície moderada ou elevada ( $M_s > 5,5$ ); (b) Tipo 2, que corresponde ao sismo próximo e com magnitude das ondas de superfície baixa ( $M_s < 5,5$ ). Na Figura 9 apresentam-se os valores de  $a_{gR}$ , definidos no Anexo Nacional (AN) para Portugal Continental e para os dois tipos de ação sísmica.

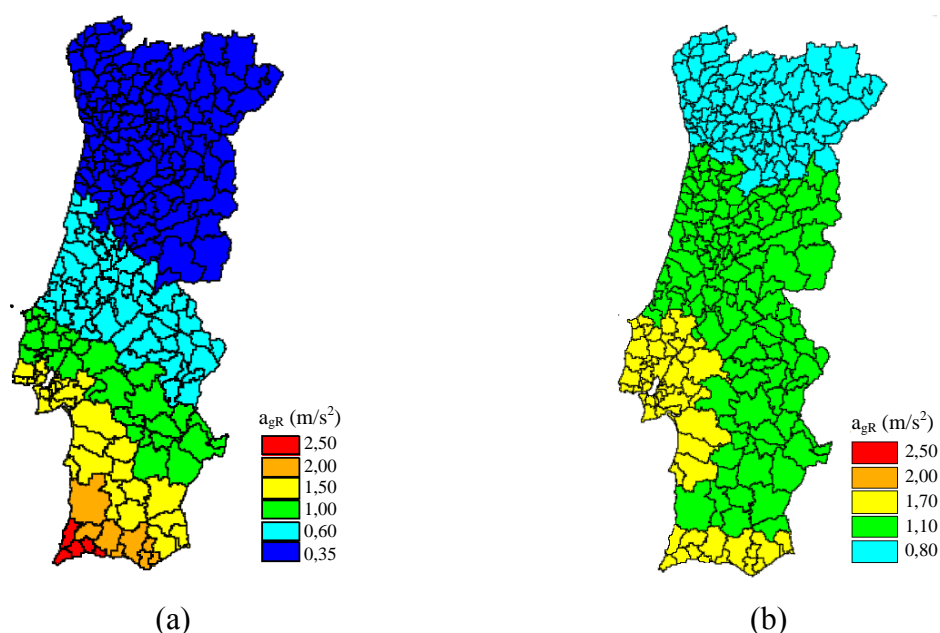


Figura 9 – Zonamento sísmico em Portugal Continental: (a) Ação sísmica Tipo 1; (b) Ação sísmica Tipo 2 [10].

O valor de referência da ação sísmica está associado ao período de retorno de referência do requisito de não ocorrência de colapso e a edifícios correntes. No entanto, os edifícios não apresentam o mesmo nível de importância no que se refere às consequências associadas ao seu colapso em termos de perdas de vidas humanas, segurança pública e proteção civil após sismo, bem como às consequências socioeconómicas. Assim, o EC8 agrupa os edifícios em quatro classes de importância associadas a diferentes períodos de retorno da ação sísmica. O valor de cálculo da ação sísmica para o requisito de não ocorrência de colapso (estados limites últimos) é obtido através da multiplicação do valor de referência da ação ( $a_{gR}$ ) pelo coeficiente de importância do edifício ( $\gamma_i$ ). De acordo com o AN, o valor do coeficiente de importância para edifícios correntes é igual a 1,0. Como exemplo, a ação sísmica de cálculo do tipo 1 é reduzida 35% para edifícios de menor importância para a segurança pública, e agravada 95% para edifícios de importância vital para a proteção civil, em relação à ação sísmica de referência (Tabela 1).

O tipo de solo de fundação é uma característica que também tem influência sobre a ação sísmica ao nível da base das estruturas. Em geral, os danos produzidos por um sismo numa determinada zona sísmica apresentam uma distribuição relativamente heterogénea, em função da geologia do local (efeito de sítio). O tipo de solo provoca alterações no conteúdo

de frequências, na amplitude e duração do sismo à superfície. O EC8 considera a influência do tipo do solo de fundação na ação sísmica através do coeficiente de solo  $S$ , cujo valor é definido no AN, em função da classificação do solo. São definidos cinco tipos de solo de fundação (A a E), descritos por perfis estratigráficos, e que variam entre solos do tipo rochoso (A) e solos brandos situado sobre estratos mais rígidos (E). São apresentados ainda dois tipos de solos especiais ( $S_1$  e  $S_2$ ), para os quais é necessário realizar estudos específicos para a definição da ação sísmica.

O AN apresenta os valores do coeficiente de solo ( $S$ ) a considerar na definição da ação sísmica de cálculo para o requisito de não ocorrência de dano em função do valor da aceleração à superfície de um solo de fundação do tipo A ( $a_g$ ) e do parâmetro  $S_{max}$ . O valor do parâmetro  $S_{max}$  é definido em função do tipo de solo e de ação sísmica. Em geral, o valor do coeficiente  $S$  assume o valor 1,0 para solos rochosos (A) e é agravado para solos brandos.

Tabela 1 – Classes e coeficientes de importância para Portugal Continental [10].

Classe de importância	Edifícios	Coeficiente de importância	
		Ação sísmica do Tipo 1	Ação sísmica do Tipo 2
I	Edifícios de importância menor para a segurança pública, como por exemplo edifícios agrícolas, etc.	0,65	0,75
II	Edifícios correntes, não pertencentes às outras categorias.	1,00	1,00
III	Edifícios cuja resistência sísmica é importante tendo em vista as consequências associadas ao colapso, como por exemplo escolas, salas de reunião, instituições culturais, etc.	1,45	1,25
IV	Edifícios cuja integridade em caso de sismo é de importância vital para a proteção civil, como por exemplo hospitais, quartéis de bombeiros, centrais elétricas, etc.	1,95	1,50

A ação sísmica de cálculo para o requisito de limitação de danos (estados limites de utilização) é obtida multiplicando a ação sísmica de cálculo para requisito de não ocorrência de colapso (estados limites últimos) por um fator de redução ( $\nu$ ). O EC8 apresenta dois valores distintos para o fator de redução, em função dos dois tipos de ação sísmica. De acordo com o AN, o fator de redução assume o valor de 0,40 e 0,55 para a ação sísmica do Tipo 1 e Tipo 2, respetivamente.

No EC8 a ação sísmica é representada igualmente por acelerogramas e espectros de resposta elásticos. Os acelerogramas artificiais devem ser compatíveis com os espectros de resposta definidos para um amortecimento viscoso igual a 5%. Os acelerogramas são preferencialmente utilizados na análise não-linear dinâmica, na qual deverão ser utilizados, no mínimo, três acelerogramas. Além dos acelerogramas artificiais, o EC8 contempla também a utilização de acelerogramas artificiais e registados. Os espectros de resposta elásticos horizontais de cálculo são definidos para os dois tipos de ação sísmica e são

função do coeficiente de amortecimento, do coeficiente de comportamento ( $q$ ), do coeficiente correspondente ao limite inferior do espectro de cálculo horizontal ( $\beta$ ) e dos períodos que delimitam os domínios da resposta com aceleração, velocidade e deslocamento constante ( $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$ ). O valor de  $q$  é função do tipo de material e  $\beta$  assume, em geral, o valor de 0,2. Os valores de  $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$  são definidos no AN e são função do tipo de ação sísmica e tipo de solo de fundação. O EC8 apresenta também os critérios para definição do espectro de resposta vertical. Os espectros de resposta são utilizados correntemente na análise modal.

Além das regras gerais para edifícios, o EC8 define regras específicas de acordo com o tipo de material da estrutura. No que se refere às estruturas em madeira, são apresentadas regras adicionais às regras do Eurocódigo 5 (EC5) [11] para resistência ao sismo. De acordo com o EC8, os edifícios de madeira resistentes aos sismos devem apresentar um dos seguintes comportamentos: (a) comportamento estrutural dissipativo; (b) comportamento estrutural de baixa dissipação. No primeiro comportamento considera-se a capacidade de partes da estrutura em regime não elástico (zonas dissipativas) e o coeficiente de comportamento poderá assumir um valor superior a 1,5. Uma estrutura dimensionada de acordo com o comportamento estrutural dissipativo deve pertencer às classes de ductilidade DCM (média) ou DCH (alta). As zonas dissipativas devem estar localizadas nas ligações e os elementos de madeira devem ser considerados com comportamento elástico.

No comportamento estrutural de baixa dissipação, os esforços são determinados com base numa análise global elástica, não considerando o comportamento não linear dos materiais e um coeficiente de comportamento não superior a 1,5. A resistência dos elementos de madeira e das ligações são determinadas exclusivamente com base nos critérios definidos no EC5. As estruturas dimensionadas de acordo com este tipo de comportamento pertencem à classe de ductilidade DCL (baixa). No entanto, este critério de dimensionamento é apenas apropriado para certos tipos de estruturas (Tabela 2). O EC8 apresenta ainda um conjunto de regras que devem ser consideradas no dimensionamento de estruturas de madeira resistentes ao sismo, nomeadamente relacionadas com as zonas dissipativas, as classes de ductilidade e coeficiente de comportamento, a análise estrutural, os processos construtivos, a verificação da segurança e o controlo do projeto e construção.

#### 4. ENSAIOS RECENTES NA MESA SÍSMICA TRIAXIAL DO LNEC

No âmbito do Programa Capacidades do 7º Programa Quadro da Comissão Europeia, uma parceria de 23 atores relevantes na engenharia sísmica abriam as suas infraestruturas de investigação à comunidade técnica europeia para acesso livre e transnacional. Os equipamentos disponibilizados incluem as quatro maiores mesas sísmicas na União Europeia, a maior parede de reação e instalação para ensaios pseudo-dinâmicos da União Europeia, e duas centrifugadoras conceituadas. Cerca de 30 projetos foram contemplados, sendo que os ensaios encontram-se atualmente todos concluídos ou em fase de conclusão.

O objetivo do projeto casas de madeira é avaliar o seu desempenho sísmico, considerando três soluções distintas: i) sistema porticado com contraplacado, PFS ou *platform frame system*; ii) sistema de troncos de madeira maciça, LHS ou *log house system*; e iii) sistema de painéis maciços de madeira, CLT ou *cross laminated timber system*. O projeto envolve diretamente a indústria produtora destes sistemas (Rusticasa Construções em Portugal, a Rubner Haus e a Legnocase em Itália e a Kaufmann na Áustria), empresas especialistas na construção em madeira (Vinzenz Harrer da Áustria e Rothoblaas de Itália) e três universidades europeias (Universidade de Trento, Itália, Universidade Técnica de Graz, Áustria e Universidade do Minho, Portugal).

Tabela 2 – Tipos estruturais e valores limites superiores dos coeficientes de comportamento para edifícios de madeira [10].

Classe de ductilidade	$q$	Exemplo de estruturas
Baixa capacidade de dissipação de energia - DCL	1,5	Consolas; vigas; arcos com duas ou três ligações rotuladas; asnas com ligações por ligadores em anel, em placa circular ou em placa denteada.
Média capacidade de dissipação de energia - DCM	2,0	Painéis de parede colados com diafragmas colados, ligados por pregos e parafusos de porca; asnas com ligações com parafusos de porca e com cavilhas; estruturas mistas constituídas por uma estrutura de madeira (resistente às forças horizontais) e por um enchimento não resistente.
	2,5	Pórticos hiperestáticos com ligações com parafusos de porca e com cavilhas.
Alta capacidade de dissipação de energia - DCH	3,0	Painéis de parede pregados com diafragmas colados, ligados por pregos e parafusos de porca; asnas com ligações pregadas.
	4,0	Pórticos hiperestáticos com ligações com parafusos de porca e com cavilhas.
	5,0	Painéis de parede com diafragmas pregados, ligados por pregos e parafusos de porca.

As casas de madeira estão a ter um desenvolvimento rápido na Europa devido a aspetos tais como a sustentabilidade e o elevado grau de industrialização e prefabricação, que se traduzem em facilidade e rapidez de montagem. Os sistemas mais tradicionais de estruturas de madeira e os sistemas inovadores recentes são agora aplicados não apenas no norte da Europa mas, crescentemente, no sul da Europa, onde a perigosidade sísmica é mais elevada. O comportamento elástico-frágil dos elementos de madeira, usualmente associados às ligações, pode limitar a aplicação das construções em madeira, utilizadas no passado essencialmente para coberturas e pavimentos. A suspeição da comunidade técnica e científica relativamente à resistência sísmica das estruturas de madeira está ilustrada na normativa atual, uma vez que apenas se reconhece as capacidades dissipativas das ligações entre os elementos, com restrições severas em diversas ligações.

Apenas recentemente se abandonou a utilização de estruturas de madeira estaticamente determinadas, ou com redundância reduzida, por sistemas modernos capazes de competir com estruturas de betão armado ou metálicas para construção em altura. Importa desta forma definir regras de projeto sísmico adequadas a estas soluções. O objetivo da presente campanha de ensaios é verificar, utilizando, ensaios à escala real, os efeitos de um sismo em diferentes casas de madeira projetadas e construídas de acordo com as regras atuais da engenharia das madeiras. Os resultados permitirão ainda validar os modelos de cálculo existentes, definir coeficientes de comportamento adequados e definir regras construtivas adequadas no que respeita a ligadores, prumos, elementos de contraventamento, aberturas, deslocamento entre pisos, entre outros aspetos relevantes para o desempenho sísmico.

A campanha de ensaios foi realizada na mesa sísmica triaxial do LNEC, ver Figura 10, durante os anos de 2012 e 2013, incluindo o ensaio de quatro edifícios de 2 e 3 pisos à

escala real. Esta mesa sísmica triaxial permite a introdução de três sinais, sendo dois horizontais em direções transversais e um vertical. A mesa possui dimensões de 4.6 (transversal)  $\times$  5.6 (longitudinal) m<sup>2</sup>, com um sistema de atuadores e de controlo que permitem o movimento desejado [12]. A mesa foi construída em 1995, tendo posteriormente sido submetida a melhoramentos em 2003 (para aumento da velocidade) e 2011 (no sistema de controlo e de vídeo). Neste caso, foi ainda construída uma base metálica que permite o ensaio de edifícios com uma área maior que a da mesa.

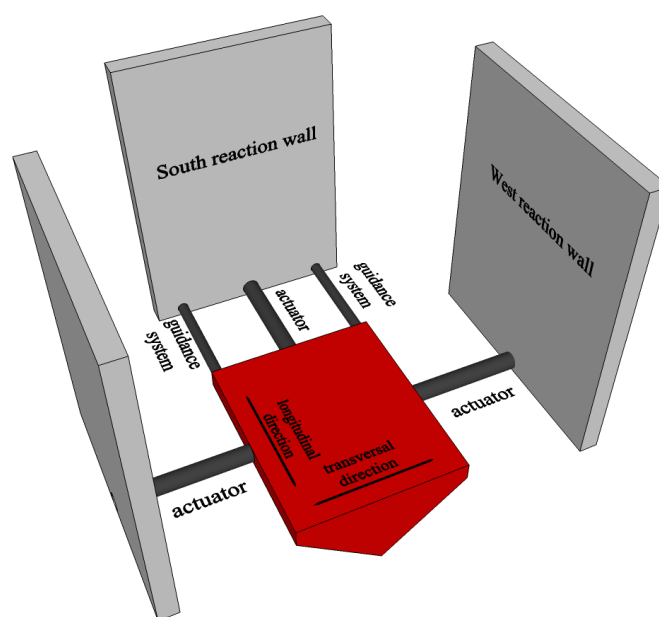


Figura 10 – Representação esquemática da mesa sísmica do LNEC.

#### 4.1. Casa de troncos de madeira maciça

A casa possui uma planta simétrica na direção longitudinal com 5,6  $\times$  7,3 m<sup>2</sup>, e com uma altura de 4,4 m nas paredes e 5,3 m na cumeeira de um telhado de duas águas, ver Figura 11. Os troncos possuem encaixe e secções transversais de 80/160  $\times$  160 mm<sup>2</sup> nas paredes interiores e exteriores, respetivamente. Estes elementos são de madeira lamelada colada de pinho bravo (*Pinus sylvestris L.*) da classe C24 [13]. Cada lamela possui 40 mm de espessura. O pavimento é realizado com vigas de uma secção transversal de 90  $\times$  165 mm<sup>2</sup> e painéis de aglomerado OSB com 22 mm de espessura. A cobertura é realizada com varas de 70  $\times$  190 mm<sup>2</sup> com uma inclinação de 18° e aglomerado pregado.

As ligações mecânicas são aparafusadas, existindo ainda entalhes a meia-madeira nas paredes exteriores e cauda de andorinha nas ligações entre paredes exteriores e interiores. A estrutura é aparafusada à base por ligadores metálicos que impedem o deslizamento.

As casas de troncos não dissipam energia significativa mas considerou-se um coeficiente de comportamento de 2, tomando em consideração alguma ação dissipativa por atrito. Não foram incorporadas no edifício nenhuns componentes não-estruturais, nem acabamentos, pelo que foram colocadas massas adicionais nos pavimentos e cobertura. Todos os elementos de madeira foram prefabricados na fábrica em Vila Nova de Cerveira e transportados cerca de 400 km para Lisboa. A montagem da casa foi realizada diretamente na mesa sísmica e durou 4 dias, ver Figura 12.

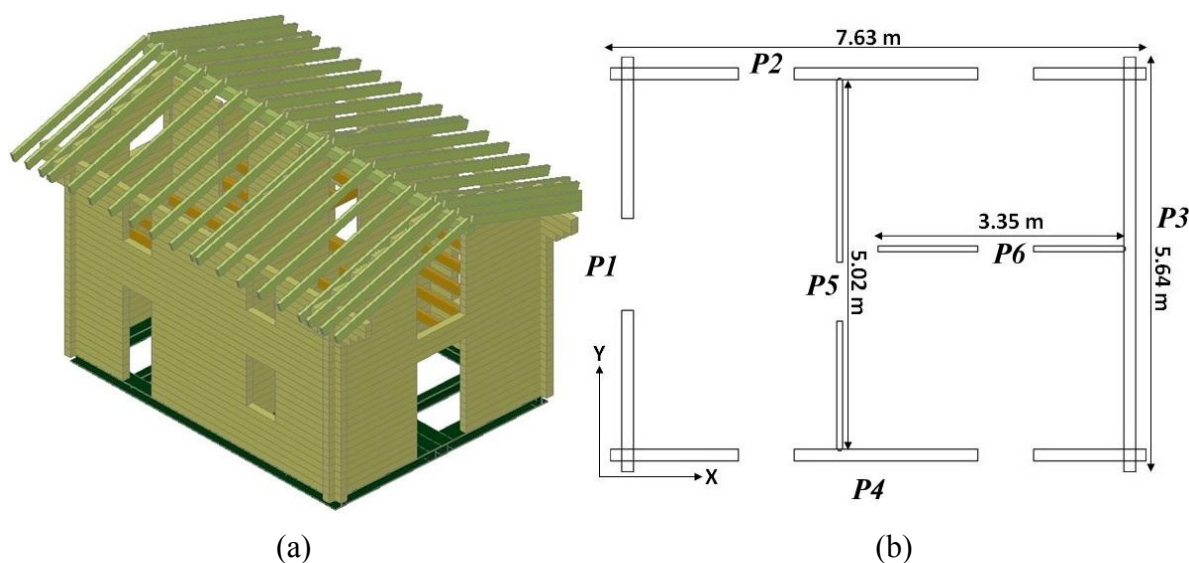


Figura 11 – Casa de troncos de madeira: (a) Perspetiva 3D; (b) Planta [13].

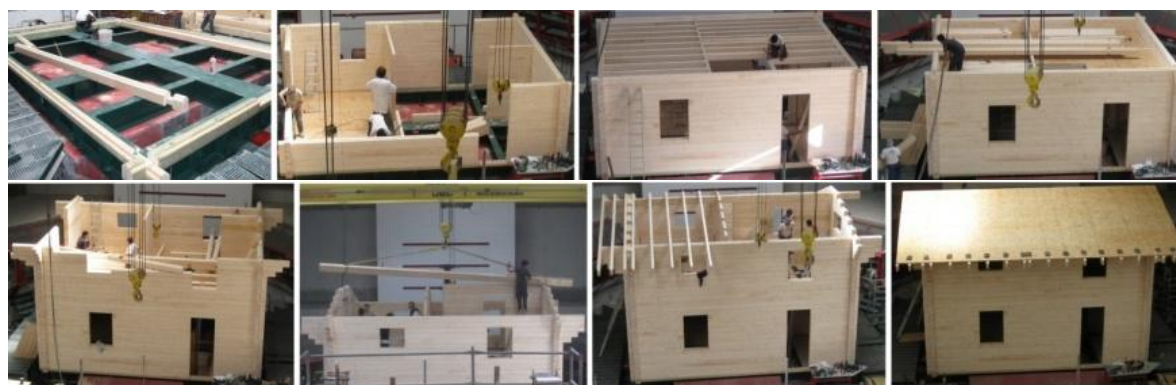


Figura 12 – Etapas de constru o: Liga o dos troncos inferiores   base de funda o; Montagem das paredes do piso inferior; Coloca o das vigas da laje do primeiro piso; Coloca o do aglomerado do piso; Montagem das paredes do piso superior; Coloca o da cumeeira; Coloca o das varas da cobertura; Casa completa.

A acelera o s smica introduzida correspondeu ao sismo de Montenegro de 1979 escalada para diferentes magnitudes que corresponderam a uma acelera o de pico (PGA ou *peak ground acceleration* de 0,07g, 0,28g e 0,5g). O edif cio teve um desempenho s smico muito satisfat rio uma vez que para o primeiro n vel n o se verificou qualquer dano. Para o valor de PGA de 0,28g verificou-se algum deslizamento entre troncos a meia altura das paredes em dois locais. Para o n vel m ximo do ensaio verificaram-se alguns danos menores que inclu ram fendas ao longo dos troncos devido   flex o fora do plano, fendas paralelas ao fio da madeira nas liga es entre paredes ortogonais devido a corte, deslizamento dos troncos devido a corte, danos na vizinhan a dos parafusos, fendas internas na sec o dos troncos e danos nos entalhes dos troncos, ver Figura 13. As medi es efetuadas demonstram que o dano introduzido   muito pequeno, com uma altera o de frequ ncia marginal na estrutura. Foram ainda obtidos resultados importantes para a limita o do dano, nomeadamente deslocamentos entre pisos e amplifica o estrutural.





Figura 13 – Danos observados no ensaio.

#### 4.2. Outros ensaios

A Figura 14 apresenta a planta e corte de uma das casas porticadas, bem como uma imagem da casa sobre a mesa sísmica e os parafusos adotados. A Figura 15 apresenta os componentes da casa em CLT, bem como uma imagem da casa sobre a mesa sísmica. Trata-se de casas com 3 pisos e 8 m de altura, com uma planta de  $6 \times 7 \text{ m}^2$ . O desempenho sísmico destas casas para o registo de sismos definido anteriormente foi excelente, sem qualquer dano estrutural. Na Figura 16 apresenta-se uma imagem geral da outra casa porticada (Legnocase) chamando à atenção para a única fissura detetada após terminada a longa campanha de ensaios sísmicos realizada.

A casa em CLT ficará instalada em Portugal para monitorização e utilização durante os próximos anos, permitindo avaliar o seu desempenho em serviço ao longo do tempo.

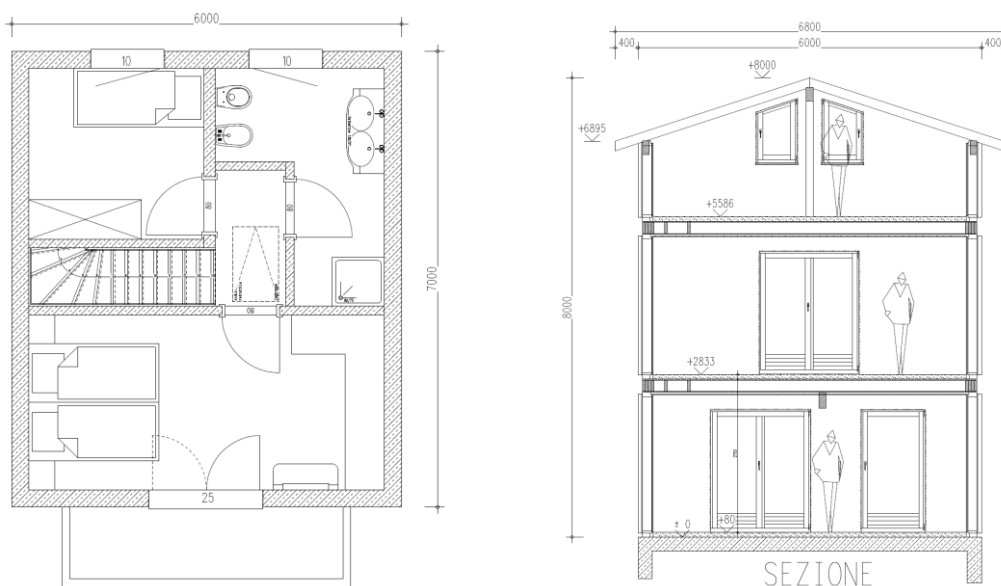
### 5. CONCLUSÕES

As casas de madeira estão a ter um desenvolvimento rápido na Europa em boa parte consequência de motivações ambientais e do elevado grau de industrialização e prefabricação que permitem, que se traduzem em facilidade e rapidez de montagem. Os sistemas tradicionais de estruturas de madeira e os vários sistemas inovadores desenvolvidos, ou em fase de desenvolvimento, são agora aplicados não apenas no norte da Europa mas, crescentemente, no sul da Europa, onde a perigosidade sísmica é mais elevada. O comportamento elástico-frágil dos elementos de madeira, em particular quando submetidos a esforços de tração ou flexão, pode limitar a aplicação das construções em madeira, utilizadas no passado essencialmente para coberturas e pavimentos.

A suspeição da comunidade técnica e científica relativamente à resistência sísmica das estruturas de madeira está ilustrada na normativa atual, uma vez que apenas se reconhece as capacidades dissipativas das ligações entre os elementos, com restrições severas em diversas ligações. Demonstrou-se com recurso a ensaios em mesa sísmica que as modernas construções em madeira possuem, no entanto, um excelente desempenho sísmico para ações sísmicas de magnitude considerável.

## 6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo projeto *Seismic performance of multi-storey timber buildings*. Seismic Engineering Research Infrastructures for European Synergies SERIES. 7º Programa-Quadro da Comissão Europeia.



(a)



(b)



(c)

Figura 14 – Rubner Haus: (a) Planta e corte; (b) Edifício sobre a mesa sísmica; (c) Parafusos e conectores.

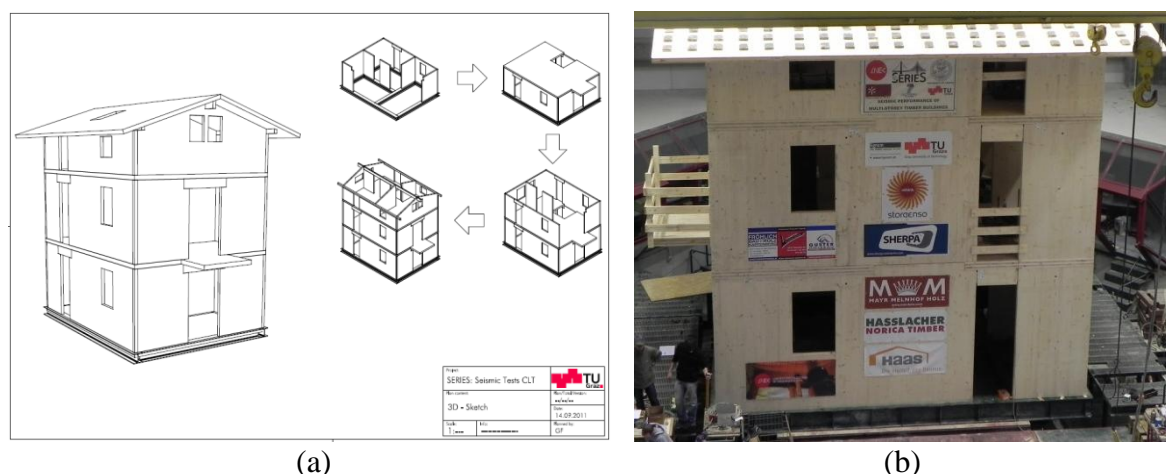


Figura 15 – Casa em CLT: (a) Perspetiva e componentes; (b) Edifício sobre a mesa sísmica.



Figura 16 – Legnocase: (a) Edifício sobre a mesa; (b) Fissura ao nível da laje do primeiro piso detetada no final da campanha de ensaios.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] Hough S.E., Bilham R.G. *After the earth quakes – Elastic rebound on an urban planet*. Oxford University Press, Inc: New York, 2006.
- [2] Global assessment report on disaster risk reduction, United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat, ISBN 9789211320282, 2009.
- [3] U.S. Geological Survey: Science for a changing the world. Available from <http://www.usgs.gov>.
- [4] Leite, J., Lourenço, P.B., Ingham, J.M., Statistical Assessment of Damage to Churches Affected by the 2010-2011 Canterbury (New Zealand) Earthquake Sequence, *Journal of Earthquake Engineering*, 17(1), 73–97, 2013.
- [5] Techniker, Tall Timber Buildings, The Stadthaus, Hoxton, London, 2010.
- [6] Milburn, J., Banks, W., Six-level timber apartment building in a high seismic zone. *NZ Timber Design Journal*, 3(12), 9-13, 2004.

- 
- [7] Kawai, N., Isoda, H., Tsuchimoto, T., Koshihara, M., Damage to wood buildings during the great Tohoku earthquake. Part2- Damage due to ground motion. *World Conference on Timber Engineering*, 16-19/07/2012, Auckland, Nova Zelândia, 2012.
- [8] Tomioka, Y., Kawaguchi, J., Morino, S., Fukao, H., Damages to timber houses caused by South-Hyogo earthquake and feasibility of structural design criteria. *Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*, paper no. 613, 23-28/06/1996, Acapulco, México, 1996.
- [9] Maki, N., Tanaka, S., Single-family wooden house. *World Housing Encyclopedia*. Available from <http://www.world-housing.net>.
- [10] NP EN 1998-1, Eurocódigo 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos – Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios. *European Standard, CEN*, Instituto Português da Qualidade, Março 2010.
- [11] EN 1995-1-1, Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings. *European Standard, CEN, Brussels*, November 2004.
- [12] Coelho, E., Carvalhal, F., Ensaios sísmicos, *Engenharia e Vida*, 10, 51-55, 2005.
- [13] Branco, J., Lourenço, P.B., Aranha, C., Seismic analysis of a 2-storey log house, SHATIS - 2<sup>nd</sup> International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures, 4-6/09/2013, Trento, Itália, 2013.

## **Bases para a monitorização do risco de degradação na construção de casas de madeira**

Lina Nunes

*LNEC, Departamento de Estruturas, Lisboa  
CITA-A e PEERS, Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo  
linanunes@lnec.pt*

### **SUMÁRIO**

No presente artigo são abordadas algumas causas comuns de degradação de madeira na construção, em particular bolores e fungos de podridão. São discutidas as condições de infecção e desenvolvimento dos agentes de degradação e sugeridas medidas de monitorização do risco.

**PALAVRAS-CHAVE: CONSTRUÇÃO, MADEIRA, MONITORIZAÇÃO, DEGRADAÇÃO BIOLÓGICA**

### **1. INTRODUÇÃO**

A deterioração da madeira aplicada causada por fungos é um processo normal, particularmente nos climas temperados e tropicais [1]. Dado que os fungos têm requisitos mínimos no que diz respeito às condições físicas, isto é, principalmente, o acesso a água suficiente e temperaturas favoráveis [2], a extensão de biodeterioração espera-se que diminua em climas frios. No entanto, existem já muitas referências à presença de fungos em madeira aplicada em regiões polares [3].

A infecção por fungos da madeira aplicada em construções começa com o estabelecimento de esporos nas superfícies lenhosas. Sob teores em água da madeira adequados, estes esporos germinam e dão início ao processo de degradação. Num primeiro estágio, o lenho é colonizado, poucas horas após a exposição, por bactérias. A velocidade de infecção destes organismos é muito baixa e não produz, de forma geral, degradação significativa. O nível seguinte de colonização cabe a bolores e fungos cromogéneos que penetram o lenho através das pontuações e se desenvolvem no lúmen celular onde consomem os açúcares (mais simples que a celulose) dissolvidos no seu interior, assim como produtos residuais da actividade de outros organismos, sem alteração muito significativa da resistência mecânica da madeira [4]. Os bolores podem ser, no entanto, responsáveis de um número significativo de doenças humanas e exigem por si só outros cuidados.

Posteriormente, a madeira poderá ser colonizada por fungos que degradam a parede celular, consumindo quer a lenhina, quer a celulose, os seus principais componentes, abrindo cavidades no seu interior. O lenho torna-se, então, mais macio e pode apodrecer profundamente. Por fim, poderão ainda desenvolver-se bolores secundários capazes de utilizar, como fonte de nutrientes, os produtos de degradação dos agentes anteriores [4].

De um ponto de vista mais prático, com base no resultado da sua acção, podem distinguir-se dois tipos de fungos: os que desfiguram e os que destroem a madeira. Os primeiros, fungos cromogéneos e bolores, não têm, normalmente, efeito significativo na resistência da madeira, uma vez que não danificam a parede celular. No entanto, são economicamente responsáveis pela perda do seu valor comercial ao afectar o aspecto estético e criam condições apropriadas à instalação de fungos de podridão, para além de poderem afectar significativamente a impregnabilidade da madeira [5][6].



Figura 1 – a) azulamento de madeira verde; b) azulamento em serviço e bolores.

Os fungos cromogéneos revestem-se de elevada relevância, não apenas no ataque a madeira recentemente abatida, mas igualmente em material aplicado e com acabamentos ou revestimentos (e.g. caixilharias e pavimentos). Os fungos de podridão, a que correspondem várias espécies e que são capazes de alterar as propriedades físicas e mecânicas da madeira, são normalmente dispersos por esporos presentes na atmosfera. Quando estes esporos (na ordem dos 10  $\mu\text{m}$  de dimensão) atingem a superfície de uma madeira com as condições de humidade necessárias, germinam desenvolvendo pequenos filamentos, as hifas, que penetram o interior da madeira.

As hifas são as estruturas que correspondem à fase de desenvolvimento responsável pela degradação da madeira. Através da libertação de substâncias químicas (enzimas), atacam a parede celular permitindo a absorção dos diferentes nutrientes. A existência de humidade elevada é condição necessária para a ocorrência deste processo, embora não exista um valor bem definido de teor em água a partir do qual a degradação por fungos de podridão possa ocorrer. Para a maioria das espécies, as condições óptimas encontram-se próximas dos valores de saturação das fibras, mas este valor pode variar em função das espécies de fungo e de madeira. Em geral, valores inferiores a 22% impedem o mecanismo de acção que conduz à degradação da madeira [4].

Para além da humidade, outros factores, como a temperatura, podem intervir no desenvolvimento dos fungos de podridão condicionando o desenvolvimento das hifas. No interior da madeira, as hifas tendem a agregar-se formando uma massa ramificada denominada micélio, que apenas se produz num intervalo de temperaturas específico para cada espécie (na generalidade, os valores óptimos situam-se entre os 20°C e os 30°C) e cuja morfologia é factor diagnosticante da espécie de fungo.

## 2. BIODEGRADAÇÃO *VERSUS* BIODETERIORAÇÃO

A biodegradação diz respeito ao processo de decomposição de materiais (sobretudo de origem orgânica) por acção de seres vivos (Figura 2a). A biodeterioração foi definida como

“any undesirable change in the properties of a material caused by the vital activities of organisms” [7] (Figura 2b).



Figura 2 – Biodegradação ou biodeterioração;  
(a) Fungo de podridão seca em meio natural - biodegradação; (b) Fungo de podridão seca na construção - biodeterioração.

### 3. SUSTENTABILIDADE E MADEIRA NA CONSTRUÇÃO

Em 1987, a Comissão da ONU para o Ambiente e Desenvolvimento elaborou a definição de que desenvolvimento sustentável é aquele que “atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades”. A sustentabilidade deve ser atingida em três dimensões interdependentes, relacionadas com o ambiente, a economia e a sociedade [8]

A madeira é um material natural, renovável e com um papel fundamental para o objectivo “carbono zero”. No entanto, se deixarmos os agentes de biodeterioração cumprirem o seu papel a madeira será degradada e o carbono libertado. É assim fundamental considerar na construção em madeira a sua adequada protecção.

No âmbito da Acção COST E37 “Sustainability Through New Technologies For Enhanced Wood Durability” foi definido um conceito de sustentabilidade ligado a protecção da madeira adoptado por todos os países signatários da Acção: *O incremento da durabilidade da madeira deve ter em conta as necessidades no presente não comprometendo a capacidade de satisfazer as necessidades de gerações futuras. As tecnologias utilizadas devem proteger a saúde e vitalidade da economia a longo prazo, bem como o ambiente e a nossa qualidade de vida.*

Ou seja, a utilização de madeira na construção deve ter em conta quer a origem da madeira (sempre que possível de florestas com produção sustentada) quer a sua utilização racional. A durabilidade da madeira é neste contexto um factor primordial.

O conceito de “preservação de madeira” implicando quase sempre a utilização de compostos químicos, com impactos muito elevados para o homem e principalmente para o ambiente, evoluiu para uma abordagem mais lata em que se fala de “protecção da madeira” com a utilização de estratégias complementares de protecção: projecto adequado de estruturas e componentes (*protection by design*); utilização de novos produtos de madeira (por exemplo madeira modificada); desenvolvimento de produtos preservadores com

melhores características face ao ambiente; desenvolvimento de métodos e produtos de tratamento específicos (*target control*) para uma determinada praga (por exemplo utilização de sistemas de armadilhagem para térmitas); melhoria e implementação das estratégias de manutenção de edifícios e estruturas de madeira, que previnam a necessidade de tratamentos curativos; desenvolvimento de técnicas de reforço e/ou consolidação estrutural eficientes; aprofundamento dos conhecimentos sobre o ciclo de vida do material nas suas diferentes utilizações (*life cycle assessment*) e definição de boas práticas quando atinge o fim de vida.

O desenvolvimento recente de novos produtos técnicos de madeira (*engineered wood products*) permite a utilização de madeira em situações tradicionalmente associadas a outros materiais de maior impacto negativo para o Homem e o Ambiente.

#### 4. SITUAÇÕES DE APLICAÇÃO (CLASSES DE RISCO)

A madeira é utilizada em situações muito diversas de exposição, principalmente no que se refere a condições higrotérmicas ambientes, que influenciam o tipo e a velocidade de degradação do material por agentes biológicos (Figura 3).

O teor de água da madeira está por isso na base das classes de risco de aplicação estabelecidas na NP EN335-1-2 [9][10]. O risco de ataque depende, não só dos agentes biológicos presentes, como da localização da peça de madeira na construção. Para além destes factores, a conservação do material está também ligada à sua durabilidade natural, entendida como a resistência natural da madeira ao ataque por organismos vivos (fungos, insectos e xilófagos marinhos) e à sua impregnabilidade, na medida em que esta determina a viabilidade de lhe conferir protecção.

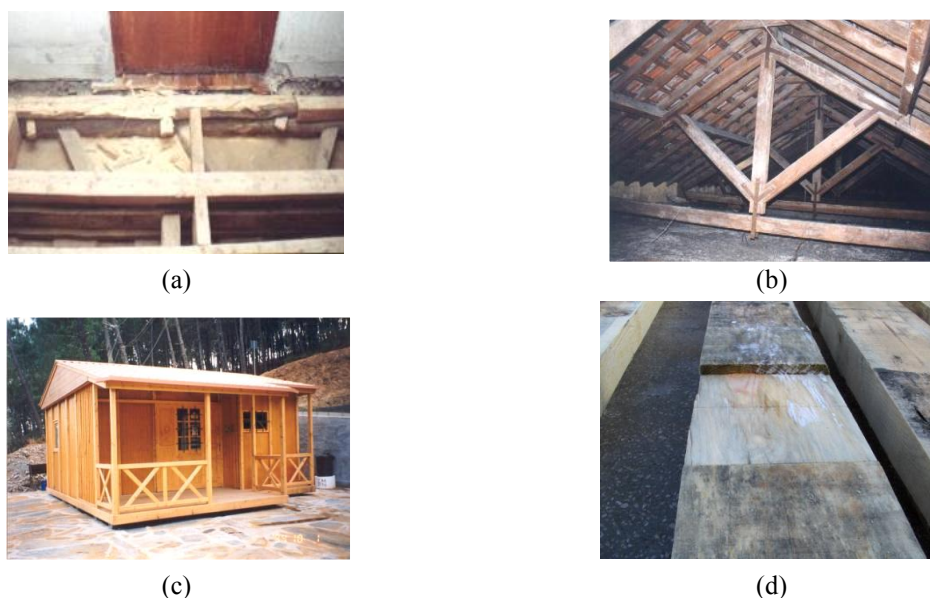


Figura 3 – Situações de aplicação da madeira em ambientes terrestres a) classe de risco 1; b) classe de risco 2; c) classe de risco 3; d) classe de risco 4.



Tabela 1 – Resumo das classes de risco, condições de humidade e agentes biológicos que poderão atacar a madeira maciça segundo a NP EN 335-2, 2011 [6][10].

<b>Classe de Risco</b>	<b>Situações gerais de serviço</b>	<b>Exemplos de aplicação</b>	<b>Exposição à humidade Teor de água da madeira</b>	<b>Agentes biológicos relevantes</b>
<b>1</b>	<b>Interior</b> seco	Pavimentos, lambris	seca 20% no máximo	carunchos
<b>2</b>	<b>Interior</b> com risco de humidificação	Estruturas de cobertura, estruturas de paredes	ocasionalmente >20%	carunchos térmitas fungos cromogéneos e bolores podridão castanha
<b>3</b>	<b>3.1</b> <b>Exterior</b> , sem contacto com o solo e protegido*	Caixilharia e portas exteriores	ocasionalmente >20%	carunchos térmitas
	<b>3.2</b> <b>Exterior</b> , sem contacto com o solo e não protegido*	Decks sem contacto com o solo, pérgolas, painéis de vedação, soletos de madeira	frequentemente >20%	fungos cromogéneos podridão castanha podridão branca
<b>4</b>	<b>4.1</b> <b>Exterior</b> , junto de /em contacto com o solo e/ou água doce	Decks em contacto com o solo ou junto de piscinas	predominantemente ou permanentemente >20%	carunchos térmitas fungos cromogéneos
	<b>4.2</b> <b>Exterior</b> , enterrado no solo e/ou água doce	Fundações em água doce, postes de vedação, postes de transmissão aérea	permanentemente >20%	podridão castanha podridão branca podridão mole
<b>5</b>	Na <b>água salgada</b>	Pontões, fundações em água salgada	permanentemente >20%	xilófagos marinhos (= CR4, na parte dos elementos fora de água)

Tal como referido anteriormente, valores inferiores a 20-22% impedem o mecanismo de acção que conduz à degradação da madeira mas com variações na prática muito significativas e que levaram à publicação já no corrente ano de uma nova versão da EN335 [11] que exclui a referência ao teor de água (Tabela 2). Paralelamente inclui um quadro que faz a ligação entre as classes de risco e as classes de serviço como definidas na EN 1995-1-1 [12] (Tabela 3).

Tabela 2 – Resumo das classes de risco, situações gerais de serviço e agentes biológicos que poderão atacar a madeira e os seus derivados, EN 335, 2013 [11].

Classe de Risco	Situações gerais de serviço	Exemplos de aplicação	Agentes biológicos relevantes
1	<b>Interior</b> seco	Pavimentos, lambris	carunchos
2	<b>Interior</b> ou sob coberto, sem exposição aos agentes atmosféricos. Possibilidade de condensação de água	Estruturas de cobertura, estruturas de paredes	carunchos térmitas fungos cromogéneos e bolores podridão castanha
3	<b>Exterior</b> , sem contacto com o solo, exposto aos agentes atmosféricos Quando subdividida: <b>3.1</b> Humidificação possível mas pouco comum <b>3.2</b> Em condições de humidificação prolongada	Caixilharia e portas exteriores  Decks sem contacto com o solo, pérgolas, painéis de vedação, soletos de madeira	carunchos térmitas fungos cromogéneos bolores podridão castanha podridão branca
4	<b>Exterior</b> , em contacto com o solo e/ou <b>água doce</b>	Decks em contacto com o solo ou junto de piscinas  Fundações em água doce, postes de vedação, postes de transmissão aérea	carunchos térmitas fungos cromogéneos podridão castanha podridão branca podridão mole
5	Permanentemente ou regularmente submerso em <b>água salgada</b>	Pontões, fundações em água salgada	xilófagos marinhos (= CR4, na parte dos elementos fora de água)

Tabela 3 – Relação entre as classes de serviço (EN 1995-1-1: 2004 [12]) e as classes de risco (EN 335:2013 [11]).

Classe de serviço de acordo com a EN 1995-1-1	Classe de risco possíveis de acordo com a EN 335
Classe de serviço 1	Classe de risco 1
Classe de serviço 2	Classe de risco 1 Classe de risco 2 se o componente está aplicado numa situação em que pode estar sujeito a humedecimento ocasional causado por exemplo por condensação
Classe de serviço 3	Classe de risco 2 Classe de risco 3 ou superior se o componente for usado no exterior

## 5. A TEORIA E A PRÁTICA

Considerando os vários factores em causa na biodeterioração causada por fungos surgem sempre muitas interrogações, sendo a maior das quais a relação entre a classe de risco teórica e as situações práticas de serviço incluindo factores como a história da construção ou as espécies de fungos presentes no local e que divergem frequentemente nas suas condições óptimas de desenvolvimento.

Diversos autores [13][14] têm nos últimos anos estudado este assunto e na Tabela 4 é apresentado um exemplo do tipo de resultados obtidos quando se comparam situações de laboratório com situações de aplicação de madeira num edifício para que exista instalação e desenvolvimento de fungos de podridão [15].

Tabela 4 – Teor de água da madeira necessário para a colonização e o desenvolvimento de 4 espécies de fungos de podridão comuns em edifícios [15].

Espécie de fungo	No laboratório		Num edifício	
	Teor de água mínimo para colonização (%)	Teor de água mínimo para podridão (%)	Teor de água mínimo para colonização (%)	Teor de água mínimo para podridão (%)
<i>Serpula lacrymans</i>	21	26 (>28)	17-25	20-55
<i>Coniophora puteana</i>	18	22 (25)	15-24	30-70
<i>Antrodia sp.</i>	22	29	20-30	35-55
<i>Gloeophyllum sepiarium</i>	28	30	c. 30	40-60

A classe de risco 3 é tipicamente aquela onde se verificam mais dúvidas sobre a relação entre os valores obtidos em ensaios de laboratório e mesmo em ensaios de campo e a degradação real que ocorre na prática.

Um dos métodos adoptados para a avaliação da durabilidade natural ou adquirida da madeira fora do contacto com o solo é o chamado “double-layer method” que tem vindo a ser aplicado, há 6 anos, num ensaio circular promovido pela Acção COST E37. Nos ensaios de campo participam 10 países e os resultados recentemente compilados [16] apontam para diferenças geográficas significativas particularmente em materiais com um historial de aplicação em construção mais curto como é o caso da madeira termicamente modificada.

No caso da exposição efectuada no LNEC em Lisboa estão a ser ensaiados 5 conjuntos de provetes: casquinha (*Pinus sylvestris*, controlo), casquinha tratada com um produto em solvente orgânico (2 concentrações) e espruce (*Picea abies*) modificado termicamente (2 níveis de tratamento). Depois de 6 anos de exposição apenas a casquinha tratada (1,8 e 4  $\text{km/m}^3$ ) não apresenta sintomas de forte deterioração embora em termos estéticos a sua alteração tenha sido significativa (Figura 4).



Figura 4 – Ensaio de campo “doble layer”. a) No início (2006); (b) depois de 6 anos de exposição (2012).

Paralelamente, foi iniciada igualmente em 2006 a monitorização e registo do teor de água da madeira aplicada numa ponte no Parque das Nações em Lisboa (Figura 5). A madeira aplicada é a mesma que apresentou os piores resultados (mesmo modificada) no ensaio descrito anteriormente, o espruce (*Picea abies*).

No entanto, neste caso, aos 6 anos de exposição a condições atmosféricas semelhantes não correspondeu uma situação semelhante de degradação e os registos do teor de água confirmam não terem sido atingidas por períodos significativos as condições propícias à degradação.

Estes dois exemplos ilustram de forma clara as diferenças de exposição possíveis no âmbito do que se convencionou chamar classe de risco 3. A aplicação da madeira na ponte pedonal é enquadrável na classe de risco 3.1 e não apresenta degradação significativa após 6 anos de exposição aos agentes atmosféricos. A manutenção regular dos acabamentos permitiria a reposição das condições estéticas iniciais. O ensaio de campo “double layer” correspondente a uma aplicação classe de risco 3.2 apresenta um nível de degradação da madeira, após um período semelhante de exposição, que pode ser considerado grave.

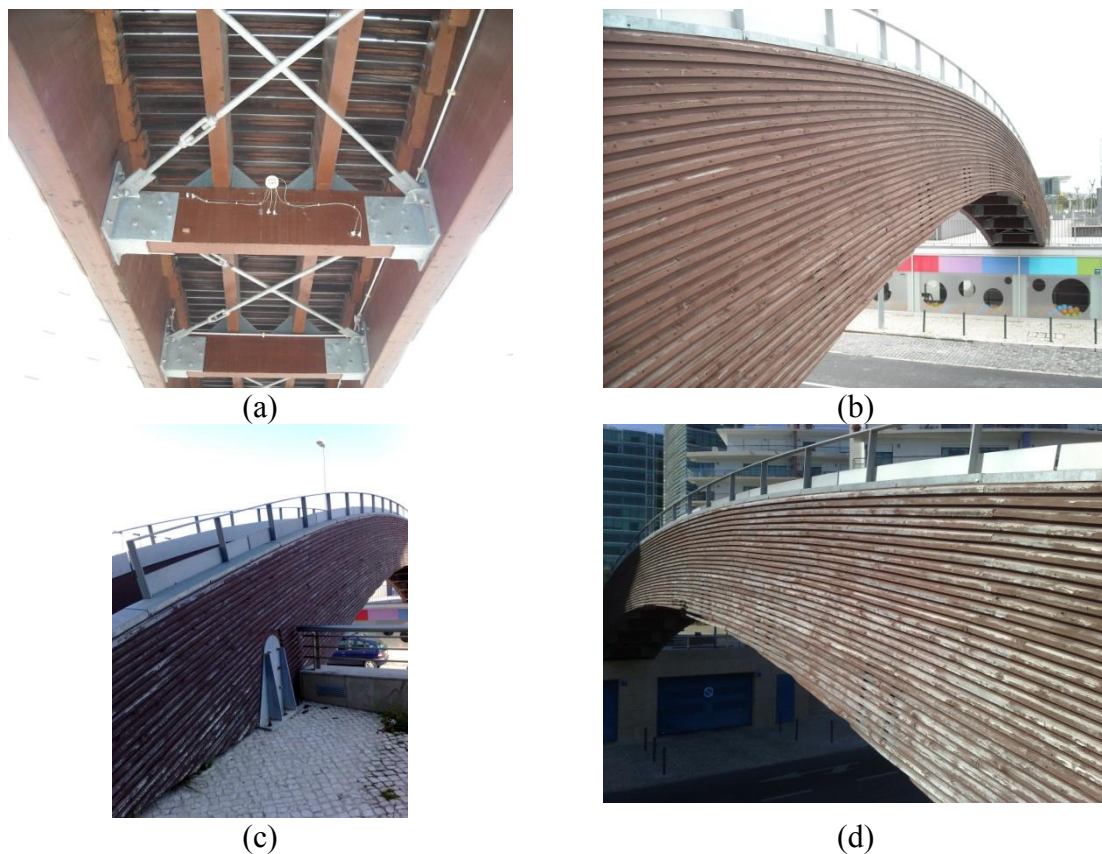


Figura 5 – Monitorização do teor de água numa ponte pedonal. Aspecto da madeira em 2006 (a e b) e em 2012 (c e d).

De referir, por último que os dados obtidos, apenas no primeiro ano de monitorização da estrutura, permitiram a validação de modelos numéricos que apontavam já para o resultado obtido [17].

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo projecto FCT - MONITOR – Sustentabilidade de estruturas por via da monitorização do risco de degradação (PTDC/ECM/099121/2008).

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] Rayner A.D.M., Boddy, L., Fungal decomposition of wood. Its biology and ecology. *John Wiley & sons*, Chichester, 1988.
- [2] Domsch, K.H., Gams, W., Anderson, T., Compendium of soil fungi. Academic press, London, 1980.
- [3] Mattsson, J., Flyen, A.-C., Nunez, M., Wood decaying fungi in protected buildings and structures on Svalbard, *Agarica* vol. 29, pp. 5-14, 2010.
- [4] Dickinson, D.J., Levy, J.F., Timber and Forest Products, in *Encyclopedia of Microbiology* (5), pp. 231-242, 1992.

- [5] CTBA, *Insectes et champignons du bois*. Centre Technique du Bois et de l' Ameublement. Paris, 116 pp, 1996.
- [6] Cruz, H., Nunes, L., Madeira. In *Ciência e Engenharia de Materiais de Construção*, ISTPress, Lisboa, 31pp, 2012.
- [7] Allsopp, D., Seal, K., Gaylarde, C. *Introduction to biodeterioration*, 2<sup>nd</sup> edition, Cambridge University Press, 237 pp, 2004.
- [8] Anon, [http://www.csustentavel.com/i\\_glossario.php?id\\_gloss=s](http://www.csustentavel.com/i_glossario.php?id_gloss=s). Consultado em 2012.04.09.
- [9] NP EN 335-1, Durabilidade de madeira e de produtos derivados da madeira. Definição das classes de risco. Parte 1: Generalidades, *Norma Portuguesa*, IPQ, Caparica, 2011.
- [10] NP EN 335-2, Durabilidade de madeira e de produtos derivados da madeira. Definição das classes de risco. Parte 2: Aplicação à madeira maciça, *Norma Portuguesa*, IPQ, Caparica, 2011.
- [11] EN 335, Durability of wood and wood-based products – Use classes: definitions, applications to solid wood and wood-based products, *European Standard*, CEN, Brussels, March 2013.
- [12] EN 1995-1-1, Eurocode 5: Design of timber structures for earthquake resistance – Part 1: General rules for buildings, *European Standard*, CEN, Brussels, November 2004.
- [13] Viitanen, H., Factors affecting the development of biodeterioration in wooden constructions, *Materials and Structures*, n° 27, pp. 483-493, 1994.
- [14] Brischke, C., Rapp, A.O., Influence of wood moisture content and wood temperature on fungal decay in the field: observations in different micro-climates, *Wood Science and Technology*, n° 42, pp. 663-677, 2008.
- [15] Viitanen, H., Ritschkoff, A.-C., Brown rot decay in wooden constructions. Effect of temperature, humidity and moisture, *Report No. 222. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products*, 1991.
- [16] Westin, M., Conti, E., Creemers, J., Flaete, P.-O., Gellerich, A., Irbe, I., Klamer, M., Mazela, B., Melcher, E., Moeller, R., Nunes, L., Palanti, S., Reinprecht, L., Suttie, E., Viitanen, H, Report on COST E37 round robin tests – Comparison of results from laboratory and field tests. IRG/WP 13-. *Proceedings IRG Annual Meeting 2013*. Stockholm, Suécia. International Research Group on Wood Protection, Stockholm. 2013.
- [17] Fortino, S., Genoese, A., Genoese, A., Nunes, L., Palma, P., Numerical modelling of the hygrothermal response of timber bridges during their service life: a monitoring case-study, submitted for publication.

## Fire safety in timber buildings

Birgit A-L Östman

*SP Wood Technology, Stockholm, Sweden*

birgit.ostman@sp.se

### ABSTRACT

The very first European design guide for Fire safety in timber buildings has been developed. It presents information for architects, engineers, educators, regulatory authorities and building industry for the fire safe use of timber structures and wood products in buildings. It aims at providing the highest scientific knowledge with regard to fire safety on the European level. The guidance covers the use of design codes, such as Eurocode 5 Design of timber structures, European fire standards, practical guidance and examples for fire safe design and principles of performance based fire design.

The design guide is focusing on structural fire protection by proving latest detailed guidance on load-bearing and separating functions of timber structures under standard fire exposure. New modelling not yet included in Eurocode 5 is presented. The guide includes information on the reaction to fire performance of wood products according to the European system. The importance of proper detailing in building design is stressed by practical solutions. Active measures of fire protection are presented as important means in fulfilling fire safety objectives.

**KEYWORDS: FIRE RESISTANCE, REACTION TO FIRE, MULTI STOREY TIMBER BUILDINGS, PROPER DETAILING**

### 1. INTRODUCTION

Timber has been a favoured construction material from the beginning of civilization because of its abundance, high stiffness and strength-to-weight ratios and the relative simplicity with which it can be adapted to use. These days, timber products have experienced a renaissance as their environmental credentials and an industry striving for continuously lower energy and less pollution appeal to consumers in a variety of sectors, from furniture to construction. The highest forest management standards ensure that there is a potential for a continuous and sustainable supply and use of timber as a building material in the future. It is therefore not surprising that timber structures are becoming an important element in sustainable and economic development, and have attracted worldwide attention in recent years.

New construction methods and new design tools have made timber framed houses an efficient construction method, offering good quality at affordable prices. Construction sites mainly employing timber products are recognized for their quiet and dry conditions, and the completed buildings offer user-friendly, healthy, natural living environments.

Globally, forests are an immense resource, accounting for about 30 % of the Earth's total land base. Europe has more than 1,000 million ha of forest spread over 44 countries, equivalent to 1.42 ha (more than two football pitches) per person. Recognizing the importance of wood, a naturally renewable building material is vital for meeting the challenges of climate change and ensuring a sustainable future.

Forests play a key role in mitigating climate change as they absorb carbon dioxide from the atmosphere and store the carbon in trees and in the ground. Research shows that cultivating forests and utilizing their resources benefits the environment.



Figure 1 - Limnologen, eight storey residential buildings with timber structure in Växjö, Sweden. To the left, still under construction with a shield for weather protection.  
(Photo: Växjö University)

## 2. FIRE SAFETY IN TIMBER BUILDINGS

The combustibility of timber is one of the main reasons that too many building regulations and standards strongly restrict the use of timber as a building material. Fire safety is an important contribution to feeling safe, and an important criterion for the choice of materials for buildings. The main precondition for increased use of timber for buildings is adequate fire safety.

World-wide, several research projects on the fire behaviour of timber structures have been conducted over about the past two decades, aimed at providing basic data and information on the safe use of timber. Novel fire design concepts and models have been developed, based on extensive testing. The current improved knowledge in the area of fire design of timber structures, combined with technical measures, especially sprinkler and smoke detection systems, and well-equipped fire services, allow safe use of timber in a wide field of application. As a result, many countries have started to revise fire regulations, thus permitting greater use of timber.



Fire test and classification methods have recently been harmonised in Europe, but regulatory requirements applicable to building types and end users remain on national bases. Although these European standards exist on the technical level, fire safety is governed by national legislation, and is thus on the political level. National fire regulations will therefore remain, but the new European harmonisation of standards will hopefully also speed up the reform of national regulations.

Major differences between European countries have been identified, both in terms of the number of storeys permitted in timber structures, and of the types and/or amounts of visible wood surfaces in interior and exterior applications. Several countries have no specific regulations, or do not limit the number of storeys in timber buildings [1, 2]. However, eight storeys are often used as a practical and economic limit for the use of timber structures. This limit may be higher for facades, linings and floorings, since these applications may also be used in, for example, concrete structures.

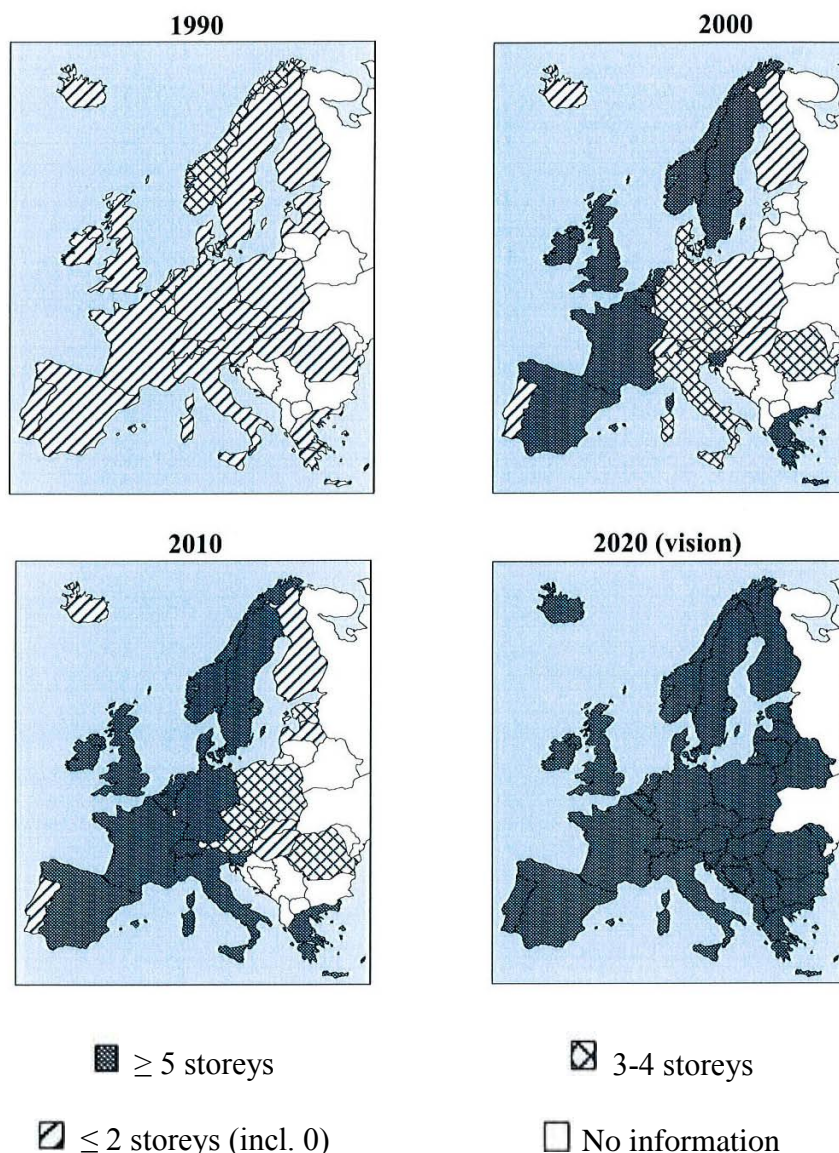


Figure 2 - Restrictions of the use of timber structures for higher buildings, set by national prescriptive regulations, have been eased in Europe over the last decades [1, 2].

### 3. ESSENTIAL REQUIREMENTS IN CONSTRUCTION PRODUCTS DIRECTIVE AND REGULATION

Building regulations are generally being altered towards functional or performance criteria, rather than being prescriptive. This development was accelerated by the Construction Products Directive (CPD), which was adopted in 1988. The CPD will be replaced by the Construction Products Regulation (CPR) in 2013. CPD contains six and CPR seven essential requirements, one of which is safety in the event of fire. The requirements on fire safety are that structures must be designed and built such that, in the case of fire:

- load-bearing capacity can be assumed to be maintained for a specific period of time
- the generation and spread of fire and smoke is limited
- the spread of fire to neighbouring structures is limited
- occupants can leave the building or be rescued by other means
- the safety of rescue teams is taken into consideration.

The essential requirements are implemented and detailed in European standards within the standardisation body CEN and in European guidelines and technical approvals within EOTA European Organisation for Technical Approvals (will probably change name during 2013), see Figure 3.

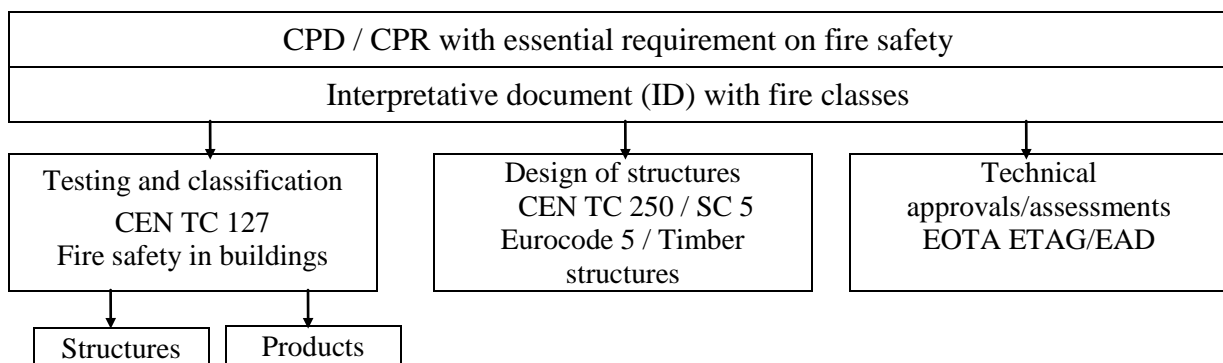


Figure 3 - Systems for European fire standards and approvals for building products.

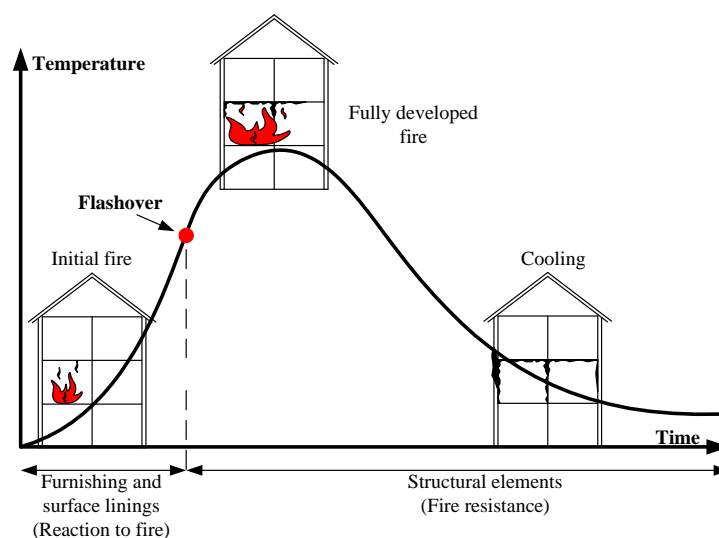


Figure 4 - Design for both the initial and the fully developed fire in buildings is needed.

## 4. EUROPEAN HARMONISATION

### 4.1. Harmonisation on structural design

As part of the European Union's aim to remove technical barriers to trade, a set of European codes of practice in the field of civil and structural engineering has been published. These European design standards of components and structures for buildings, known as Eurocodes, will help to standardise design rules within Europe.

The Eurocodes have to be implemented by the national standard committees in all European countries. The national committees develop national annexes with specific rules and values to maintain the level of safety prevailing in the respective countries. The national annexes will be essential documents to enable Eurocodes to be used. The following appropriate information must be included:

- values or classes where alternatives are given in the Eurocode
- values to be used where only a symbol is given in the Eurocode
- specific data e.g. for material properties, wind or snow load
- the procedure to be used when alternative procedures are given in the Eurocode
- decision on the application of informative annexes.

The Eurocodes allow the calculation and verification of load-bearing capacity of components and structures for different materials, based on the semi-probabilistic design concept with partial safety coefficients. It is therefore also possible to design structures or components for desired behaviour in the case of fire, based on tabular values and simplified or general calculation methods, and to optimise the design of fire protection. Application of the Eurocodes fire parts permits the integration of parametric temperature-time curves and natural fire curves to represent real fire scenarios as an alternative to the standard time/temperature curve in evaluating the fire resistance of components, which can be useful especially in evaluation of existing structures. However, the use of extended methods requires an increased level of expertise from the user. The Eurocodes will progressively replace the national design rules in all European countries.

### 4.2. Harmonisation of fire classification systems

#### 4.2.1. Reaction-to-fire performance

A European classification system for the reaction-to-fire performance of building construction products has been introduced by the CPD. It is often called the Euroclass system, and consists of two sub-systems, one for construction products excluding flooring materials, i.e. mainly wall and ceiling surface linings, and another similar system for flooring materials. Both sub-systems have classes A to F, of which classes A1 and A2 are non-combustible products. The European system will replace the present national classification systems, which have created obstacles to trade. The European classification system for reaction-to-fire performance is based on a set of EN standards for test methods, EN 13823, EN ISO 11925-2 and EN ISO 9239-1 and for classification systems EN 13501-1. Three test methods are used for determining the classes of combustible building products. Methods EN ISO 1182 (non-combustibility) and EN ISO 1716 (calorific potential) are also used for classes A1 and A2.

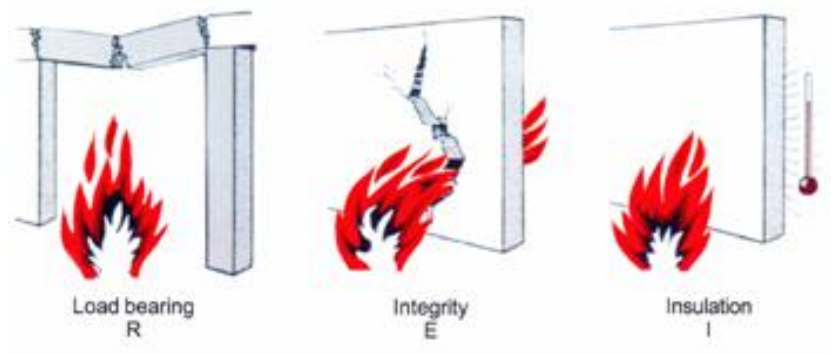


Figure 5 - Performance criteria for fire resistance, used together with a time value, e.g. REI 60 for an element that maintains its load-bearing and separating functions for 60 minutes.

#### 4.2.2. Structural fire performance - Fire resistance

Fire resistance means that structural elements, e.g. wall elements, must withstand a fully developed fire and fulfil certain performance requirements. If the fire exposure is in accordance with the standard time-temperature curve, the performance requirements are load-bearing capacity (R), integrity (E) and insulation (I), see Figure 5. The standard fire curve describes a fully developed fire defined in EN 1363-1 and ISO 834-1 and is referred to in almost all national building codes. The building elements are expected to withstand the fire exposure for a specified period of time, e.g. 60 minutes. Timber structures can achieve high fire resistance, e.g. REI 60, REI 90 or even higher.

## 5. THE FIREINTIMBER PROJECT

The WoodWisdom-Net research project FireInTimber was conducted during 2007-2010 in close cooperation with 14 partners in nine countries. The key objective was to provide new possibilities for wood products in construction through proper fire design. The use of wood products is to be supported and stimulated by comprehensive and scientifically robust background data, which is presented in user-friendly and adapted tools for engineers and other stakeholders. The programme and its outcome are to facilitate and lead to simplified and quicker approval processes for wood products in buildings. This will increase the general public's confidence and positive perception of and about wood products.

The vision was to ensure that the wider use of wood in buildings will be associated with improved fire safety. The project also built a knowledge base by promoting core competence and multidisciplinary research. The transfer of new knowledge will be enhanced by networking between research and industry.

The FireInTimber project has resulted in new knowledge, especially for modelling of the load-bearing capacity of new types of timber structures. The project results are presented in about fifty scientific papers, reports and presentations at scientific and technical conferences. The main result for a greater audience is the technical guideline Fire safety in timber buildings [2]. It is the very first Europe-wide guideline on the fire safe use of wood in buildings. Short versions in several languages are also available [3, 4].



Figure 6 - The technical guideline Fire safety in timber buildings [2].

## 6. THE TECHNICAL GUIDELINE FOR EUROPE

The very first technical guideline on the European level for the fire safe use of timber structures and wood products in buildings aims at providing the highest scientific knowledge and covers the extended use of European design codes and standards, practical guidance and examples for fire safe design and principles of performance based design. The guideline presents information for architects, engineers, educators, regulatory authorities and building industry.

The guideline is focusing on structural fire design by providing the latest detailed guidance on separating and load-bearing functions of timber structures under standard fire exposure. Reference is made to the Fire Part of Eurocode 5 and, where new knowledge is available, to other references. Depending on national regulations, some of the new design methods may need agreement by the competent authority. This new information will be potential input to the next revision of the Fire Part of Eurocode 5.

The guideline also includes information on reaction to the fire performance of wood products according to the new European classification system. The importance of proper detailing in building design is stressed by practical examples. Active measures of fire protection and quality of construction workmanship and inspection are presented as important means for fulfilling the fire safety objectives.

The guideline comprises totally about 200 pages. Short summaries of the guideline chapters are presented below.

Chapter 1, **Timber buildings**, provides a short introduction to the established uses of timber buildings and the renaissance of timber structures in recent years as a result of the drive towards more sustainable construction solutions.

Chapter 2, **Fire safety in buildings**, gives an overview of the basic concepts of fire safety in buildings. It presents information on fire behaviour, fire loads, fire scenarios and fire safety objectives. Means of fulfilling the fire safety objectives are described for use in all buildings and as a basis for the design solutions in these guidelines.

Chapter 3, **European requirements**, presents an overview of the new European requirements for fire safety in buildings, based on the Construction Products Directive

(CPD) and its essential requirements. These requirements are mandatory for all European countries. They include the classification systems for reaction to fire of building products, fire resistance of structural elements, external fire performance of roofs, fire protection ability of claddings and structural Eurocodes. Descriptions of how these requirements are applied to wood products and timber structures are given in the following chapters.

Chapter 4, **Wood products as linings, floorings, claddings and façades**, presents the reaction-to-fire performance of wood products according to the new European classification system. A wide range of products is included: wood-based panels, structural timber, glued laminated timber (glulam), solid wood panelling and wood flooring. A new system for the durability of the reaction-to-fire performance of wood products is explained and put into context, as well as the recently published K-class system for coverings with fire protection ability.

In addition to reaction-to-fire performance, some countries have extra requirements for façade claddings, for which at present no European harmonised solution exists. Best practice and state-of-the-art information on fire scenarios for facades are presented.

Chapter 5, **Separating structures**, presents the basic requirements, calculation methods based on component additive design and the Eurocode 5 design method. It also presents an improved design method from recent research as potential input for future revisions of Eurocode 5 and practical examples on how to use the method.

Chapter 6, **Load-bearing timber structures**, introduces the design methods for verification of the structural stability of timber structures in the event of fire, applying the classification for Criterion R for fire resistance (load-bearing function). Reference is made to Eurocode 5 with respect to charring and strength and stiffness parameters. Alternative design models are presented as well as new design methods for timber structures currently outside the scope of Eurocode 5, see Figure 7.

Chapter 7, **Timber connections**, provides an overview of the basic requirements for timber connections. The calculation methods in Eurocode 5 are complemented with state-of-the-art design methods, the result of recent research. Both timber-to-timber and steel-to-timber connections are included. The models are described and worked examples presented.

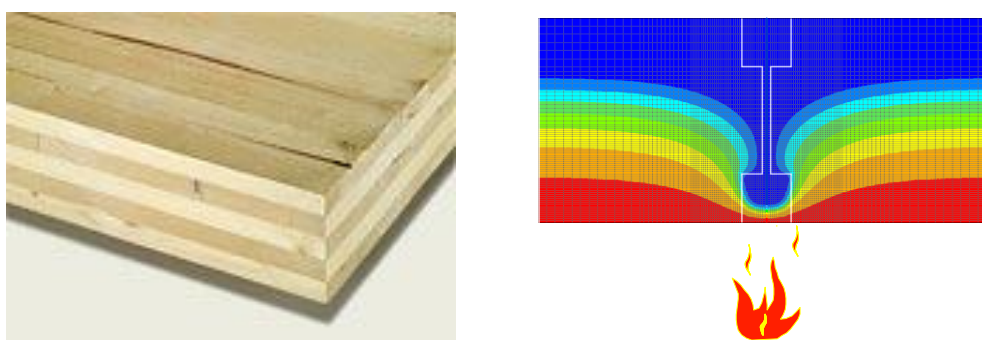


Figure 7 - New fire design models have been developed for the separating and load bearing capacity of innovative timber structures and verified by testing. The new models will be used as input for next revision of Eurocode 5.

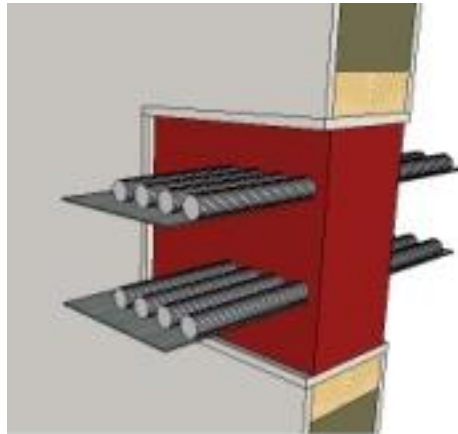


Figure 8 - Proper detailing in timber structures is necessary to ensure that the fire resistance of structures is maintained. Fire stops are needed for joints, penetrations and installations.

Chapter 8, **Fire stops, service installations and detailing in timber structures**, deals with the need for adequate detailing in the building structure to prevent fire spread within the building elements to other parts of the building. Special attention is paid to basic principles, fire stops, element joints and building services installations. Several practical examples of detailing in timber structures are included.

Chapter 9, **Novel products and their implementation**, is aimed primarily at product developers. It describes guidelines for introducing novel structural materials and products. The basic performance requirements and potential solutions for insulating materials, encasing claddings and board materials, thin thermal barriers and fire-retardant wood products are included. The innovation process from idea to approved product ready for the market is outlined.

Chapter 10, **Active fire protection**, describes how such protection is used to achieve a more flexible fire safety design of buildings and an acceptable level of fire safety in large and/or complex buildings. The chapter introduces common active fire protection systems, including fire detection and alarm systems, fire suppression and smoke control systems. Sprinkler installation provides special benefits for increased use of wood in buildings, particularly where surfaces are to remain visible.

Chapter 11, **Performance-based design**, describes the basic principles of performance-based design, requirements and verification. Fire risk assessment principles are described in terms of objectives, fire safety engineering design, design fires, calculation/simulation methods and statistics. A case study of a probabilistic approach is also included.

Chapter 12, **Quality of construction workmanship and inspection**, describes the need for execution and control of workmanship to ensure that the planned fire safety precautions are built in. It also emphasises the need for fire safety at building sites, when not all fire safety measures are yet in place.

## 7. CONCLUSIONS

The European guideline presents information on wood products fulfilling the European fire classes and calculation tools for the fire resistance of timber structures, including new methods to be proposed for inclusion in the next revision of Eurocode 5.

The importance of proper detailing in building design is stressed by practical solutions. Active measures of fire protection are presented as important means in fulfilling fire safety objectives.

This information is useful for all types of buildings and in all European countries, especially for multi storey timber buildings.

A major remaining task is to create a system for harmonising the National building regulations. A promising tool is to use Fire Safety Engineering to replace or at least complement present prescriptive regulations.

## 8. ACKNOWLEDGMENTS

The design guide has been developed in the European research project FireInTimber (Fire Resistance of Innovative Timber structures). Leading experts and researchers from nine European countries have been participating and guarantee its quality and relevance. Research partners are SP Trätekt Sweden (coordinator), VTT Finland, Munich Technical University and DGfH Germany, Blaise Pascal University and CSTB France, Wood Centre Norway, Building Research Establishment UK, Holzforschung Austria, Innsbruck University and Vienna Technical University Austria, ETH Switzerland and Resand Estonia.

Supporting public funding organisations are WoodWisdom-Net Research Programme jointly funded by national funding organizations: Vinnova and Formas (SE), Tekes (FI), Federal Ministry of Education and Research (DE), Ministère de l'Agriculture (FR), Norges forskningsråd (NO), Forestry Commission (UK), FFG (AT), Lignum (CH) and EMTL (EE). The main supporting industry partner is European wood industry represented by the Building With Wood process within CEI Bois.

## 9. REFERENCES

- [1] Östman B, Rydholm D: National fire regulations in relation to the use of wood in European and some other countries, Trätekt Publication 0212044, 2002.
- [2] Fire safety in timber buildings – Technical guideline for Europe. Complete guideline, 200 pages. SP Report 2010:19, 2010.
- [3] Fire safety in timber buildings – Technical guideline for Europe. Guideline summary in English, 8 pages. SP INFO 2010:15, 2010.
- [4] Fire safety in timber buildings – Technical guideline for Europe. Guideline summary in Spanish language, 8 pages. SP INFO 2012:02, 2012.



## **Edifícios construídos com painéis de madeira lamelada-colada cruzada (X-Lam)**

Luís Jorge

*Instituto Politécnico de Castelo Branco, Castelo Branco*  
luisfc@ipcb.pt

### **SUMÁRIO**

Os painéis de madeira lamelada-colada cruzada, X-Lam (*cross-laminated timber*), são placas estratificadas de grandes dimensões com desempenho estrutural. Os estratos são dispostos ortogonalmente, sendo normalmente constituídos por lamelas de madeira maciça de espécies resinosas com espessuras entre os 20 e os 40mm, classificadas através da norma EN 14081-1.

A marcação CE deste produto é efetuada com base numa Aprovação Técnica Europeia, conforme exigência transposta no mercado português pelo Decreto-Lei 4/2007. A norma harmonizada para este produto encontra-se em preparação pelo CEN, existindo já um projecto de norma europeia, prEN16351 [14].

O início de produção industrializada destes painéis remonta ao final da década de 90, havendo desde então inúmeros projetos de edifícios, executados neste sistema construtivo. Porventura os mais significativos dizem respeito a edifícios de vários pisos, sendo um dos mais conhecidos executado em Londres com 8 pisos, totalmente em estrutura de madeira baseada em painéis X-Lam. Após alguns anos de desenvolvimento na Europa, esta tecnologia começou somente há pouco tempo a ser igualmente utilizada no continente americano, Japão e Austrália.

As principais qualidades deste sistema construtivo face às soluções tradicionais deverão ser o desempenho face à ação sísmica, a eficiência energética e a rapidez de construção.

### **PALAVRAS-CHAVE: X-LAM, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, SEQUESTRO DE CARBONO, PRÉ-FABRICAÇÃO**

#### **1. A CONSTRUÇÃO EM MADEIRA, A FLORESTA E A ECONOMIA**

Os recursos florestais representam 3% do PIB, alimentados por 3 fileiras: sobreiro (cortiça), eucalipto (pasta de papel) e pinho bravo (carpintaria, painéis e serração). Das três, a fileira do pinho é aquela que tem sofrido maior diminuição nos últimos anos, fruto da devastação por causas naturais (pragas e incêndios) e menor apelo económico, decorrente de uma indústria de madeira serrada pouco desenvolvida tecnologicamente e com produtos de baixo valor acrescentado.

A este respeito, importa focar ainda algumas conclusões do último Inventário Florestal Nacional [7], a seguir transcritas:

- O uso florestal do solo é o uso dominante do território continental (35,4% em 2010, aos quais se podem somar mais 32% referente a matos e pastagens);

- O eucalipto (dominado pela espécie *Eucalyptus globulus*) é a principal ocupação florestal do Continente em área (812 mil ha), o sobreiro a segunda (737 mil ha), seguido do pinheiro bravo (714 mil ha);
- A área de pinheiro bravo apresenta uma forte redução, de 27% quanto à superfície total (povoamentos e superfícies temporariamente desarborizadas, i.e. superfícies cortadas, ardidadas e em regeneração);
- A área total pinheiro bravo diminuiu 263 mil ha entre 1995 e 2010. A maior parte desta área transformou-se em “matos e pastagens” (165 mil ha), 70 mil em eucalipto, 13 mil em espaços urbanos e 13,7 mil em áreas florestais com outras espécies arbóreas.

De acordo com o Relatório de Caracterização da Fileira Florestal [1], anualmente, são transformados em serração, cerca de 3,4 milhões de m<sup>3</sup> de madeira de pinho bravo proveniente da Floresta Portuguesa. As Indústrias da Fileira Florestal foram responsáveis por um volume de negócios de 6.753 milhões de euros em 2009. A balança comercial referente às indústrias da fileira florestal é extremamente vantajosa para Portugal, com um saldo positivo de 1.690 milhões de euros em 2010. Em 2009, esta fileira representou 9,8% do total das exportações nacionais de bens e 3,5% do total das importações nacionais de bens.

Os ecossistemas da floresta asseguram ainda um conjunto alargado de serviços, como sejam: fixação de carbono e produção de oxigénio, biodiversidade, proteção da paisagem, retenção da água no solo, regulação do clima, purificação da água, controlo de doenças, proteção contra a erosão, acumulação de matéria orgânica, recreio, caça e ecoturismo, entre muitos outros.

Alterações nestes serviços afetam o bem-estar humano de diversas formas, com impactos na segurança, nos recursos materiais básicos para uma vida com qualidade, na saúde e nas relações sociais e culturais. Infelizmente, muitos destes serviços não possuem ainda valor de mercado, mas a importância da floresta e dos produtos florestais para a economia portuguesa é todavia evidente.

Neste contexto, a utilização de madeira na construção, apresenta-se como um importante fator de valorização da floresta, componente fundamental para uma estratégia de estímulo ao aumento das áreas florestais com gestão florestal sustentável.

No entanto, em Portugal, a utilização de madeira na construção e principalmente a madeira para estruturas, possui um estigma bastante acentuado na opinião pública e nos técnicos do sector, originada em mitos principalmente relacionados com a durabilidade e a resistência ao fogo.

Em sentido contrário, na Europa, os desenvolvimentos tecnológicos na engenharia de madeiras (novos produtos e soluções), em conjunto com toda a regulamentação e normalização na área, designadamente, Eurocódigos Estruturais, normas nas áreas da durabilidade, preservação de madeira e requisitos para o fabrico de produtos derivados de madeira, têm proporcionado realizações espetaculares (edifícios de vários pisos, pontes rodoviárias e estruturas de cobertura de grande vão).

## 2. MADEIRA LAMELADA-COLADA CRUZADA (X-LAM)

Os painéis de madeira lamelada-colada cruzada, X-Lam (cross-laminated timber), são placas estratificadas de grandes dimensões com desempenho estrutural (Figura 1). Os estratos são dispostos ortogonalmente, sendo normalmente constituídos por lamelas de madeira maciça de espécies resinosas com espessuras entre os 20 e os 40mm, classificadas

através da norma EN 14081-1 [5]. Esta disposição ortogonal dos estratos proporciona estabilidade dimensional ao painel, com variações dimensionais desprezáveis no seu plano, desde que utilizado nas condições das Classes de Serviço 1 ou 2, i.e. com teor de água de equilíbrio não superior a 20%. O uso dos painéis em Classe de Serviço 3, por exemplo em fachadas não revestidas, não se encontra previsto na Aprovação Técnica Europeia [13].

A marcação CE deste produto é efetuada com base numa Aprovação Técnica Europeia, conforme exigência transposta no mercado português pelo Decreto-Lei 4/2007. A norma harmonizada para este produto encontra-se em preparação pelo CEN, existindo já um projeto de norma europeia, prEN16351 [14].



Figura 1 – Painel de madeira lamelada-colada cruzada.

Estes painéis de grande dimensão executam paredes, pisos e coberturas acumulando funções estruturais, compartimentação e revestimento, sendo entregues em obra nas dimensões finais de projeto e prontos para a respetiva montagem, num processo de total pré-fabricação. Todas as aberturas para portas, janelas e outros vãos são executadas em fábrica com tecnologia de corte CNC, deixando para a obra somente as pequenas furações e roços para redes de infraestruturas técnicas.

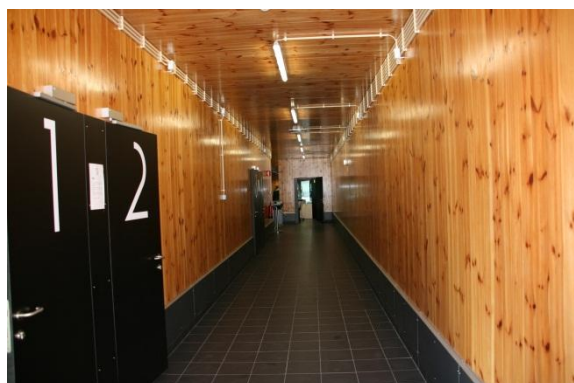
A dimensão máxima dos painéis está geralmente limitada aos meios de transporte, com um comprimento máximo de 13,5m e uma largura máxima de 2,95m. A espessura depende da especificação de projeto (estabilidade, resistência ao fogo, isolamento térmico e acústico), iniciando-se nos 57mm (3 estratos) e alcançando geralmente os 250mm (8 estratos).

Na produção dos painéis são usadas tipicamente espécies resinosas, sendo as mais comuns o abeto, espruce ou pinho.

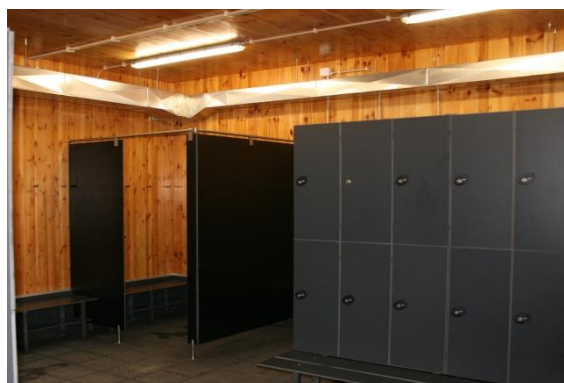
O início de produção industrializada destes painéis remonta ao final da década de 90, na Áustria, Alemanha e Suíça, havendo desde então inúmeros projetos de edifícios (habitação, industrial, desportivo, comércio ou hoteleiro), executados neste sistema construtivo [3][8][10][17][19][20]. Porventura, os mais significativos, dizem respeito a edifícios de vários pisos, tendo sido um dos mais relevantes executado em Londres com 8 pisos, totalmente em estrutura de madeira com painéis X-Lam (Figura 7-b). Após alguns anos de desenvolvimento na Europa, esta tecnologia começou há pouco tempo a ser igualmente utilizada nos EUA, Japão e Austrália.

Em Portugal, a maior obra construída até ao momento foi executada em Almada, com um edifício para piscina e uma sala polivalente (Figura 2). O edifício compreende uma nave com um tanque de 25 m e uma sala polivalente contígua com 213 m<sup>2</sup>. A característica principal do edifício foi a utilização massiva de madeira na estrutura, através de painéis X-Lam, tirando partido da sua tripla função: estrutura, compartimentação e revestimento. As condições do edifício com forte higrometria interior foram adequadamente estudadas, limitando a existência de madeira à vista aos locais com condições compatíveis para a Classe de Serviço 2, de acordo com o Eurocódigo 5 [11]. A foto da Figura 2-a ilustra as zonas interiores de circulação, com paredes e tetos em madeira à vista, protegidos por um

lambrim com 50cm no arranque das paredes. Nos balneários, as paredes de madeira foram impermeabilizadas e revestidas nas zonas dos chuveiros, devido ao contacto direto com água, conservando-se os tetos com madeira à vista. Nas zonas de vestiário, Figura 2-b, mantêm-se as faces à vista nas paredes. No piso da sala polivalente, Figura 2-c, os painéis X-Lam executam uma laje fungiforme, apoiando-se pontualmente em pilares metálicos dispostos segundo uma métrica regular quadrada de 6 m de lado. O mesmo painel, fica visível pelo exterior no teto e pelo interior no piso. Na nave da piscina (Figura 2-d), os painéis X-Lam realizam a cobertura, suportando num vão de 6,35m uma sobrecarga de  $0,8 \text{ kN/m}^2$  (valor característico) e painéis solares térmicos.



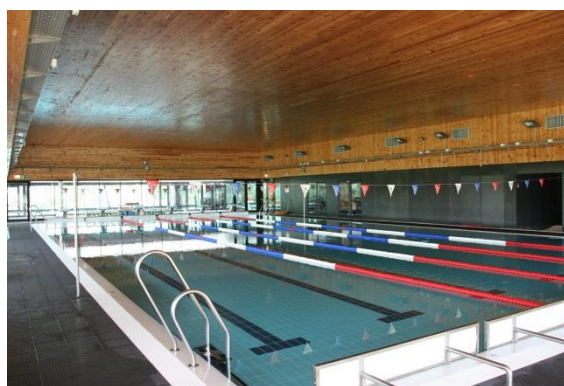
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2 – Complexo Municipal de Piscinas na Caparica, Almada.

A Figura 3 apresenta uma moradia unifamiliar, construída no concelho de Alcanena, sendo o primeiro edifício em painéis X-Lam em Portugal. O edifício possui  $260 \text{ m}^2$  de construção, tendo consumido  $89 \text{ m}^3$  em painéis de madeira X-Lam. A estrutura de madeira, constituída por todas as paredes interiores e exteriores, laje de cobertura e pavimento intermédio, foi executada em 5 dias por uma equipa de 4 carpinteiros. As paredes exteriores possuem um sistema de isolamento térmico em ETICS, colado aos painéis. Pelo interior, na generalidade das situações, as paredes foram revestidas com placas de gesso cartonado. Sobre os painéis de cobertura foram aplicados painéis de isolamento térmico em PIR, sendo a impermeabilização em tela de PVC.



Figura 3 – Moradia unifamiliar em Alcanena.

O esquema da Figura 4 ilustra as opções tomadas no projeto quer para a ligação entre painéis de piso quer para a união entre painéis de parede e piso. As fixações foram baseadas em ligações diretas aparafusadas recorrendo-se nas paredes do piso 1 a placas angulares, posteriormente ocultadas com os revestimentos de piso. Este sistema de ligação confere à estrutura a capacidade de carga e deformação plástica compatíveis com os pressupostos da análise estrutural. A colocação das fitas betuminosas nas juntas entre painéis visou garantir um melhor comportamento térmico, o corte acústico e a estanquidade ao ar.

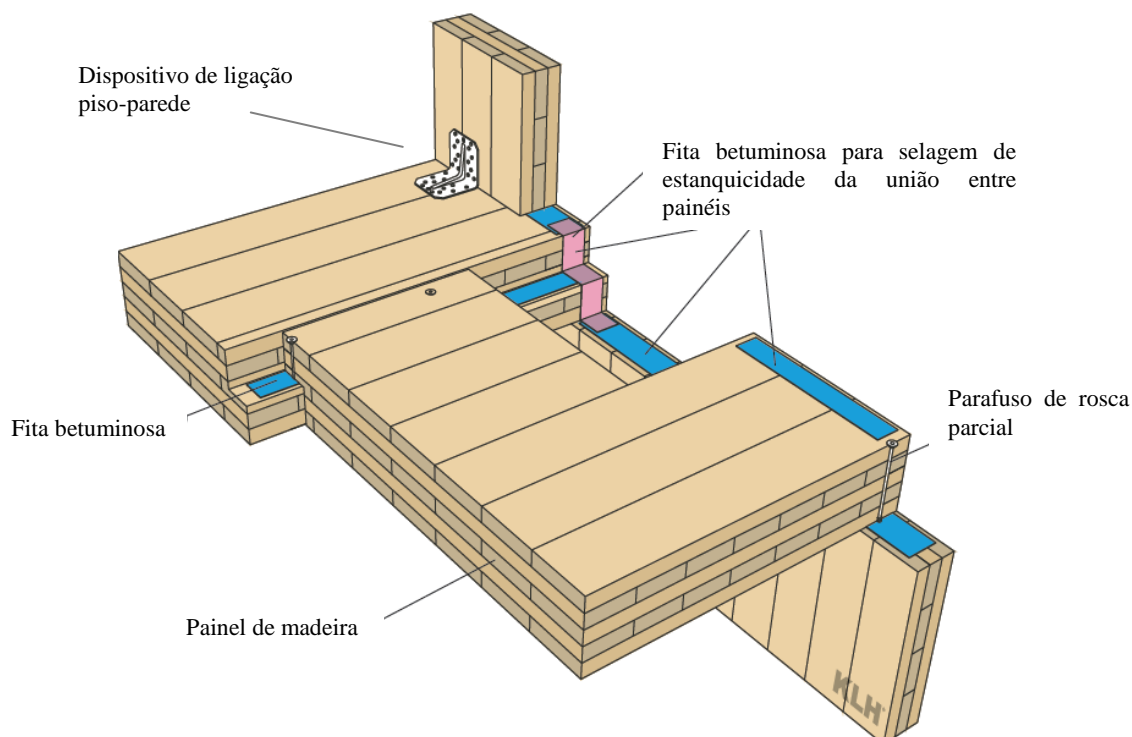


Figura 4 – Esquema geral de ligação entre painéis [8][10].

Na generalidade dos casos, sempre que as paredes ou pisos são revestidos, as instalações técnicas são realizadas de forma usual sem necessidade de especiais requisitos técnicos. Sempre que haja necessidade de abertura de rasgos, o seu traçado deverá ser cuidado e analisado considerando questões de natureza estrutural e acondicionamento acústico (Figura 6 e Figura 6). Nas paredes estruturais, os rasgos devem ser abertos na direção

vertical (direção estrutural principal), deixando uma distância mínima de segurança de 10cm ao topo lateral. Sempre que possível, estes rasgos não deverão ser abertos em faces opostas da mesma secção transversal da parede, recomendando-se aqui uma distância mínima de 1m também por razões de conformidade do isolamento acústico. Sempre que seja necessário um acesso na perpendicular aos estratos principais, dever-se-á procurar perfurar salvaguardando os estratos principais. Nos rasgos em pisos (situação menos vulgar), aplicam-se conceptualmente os mesmos cuidados que nas paredes.

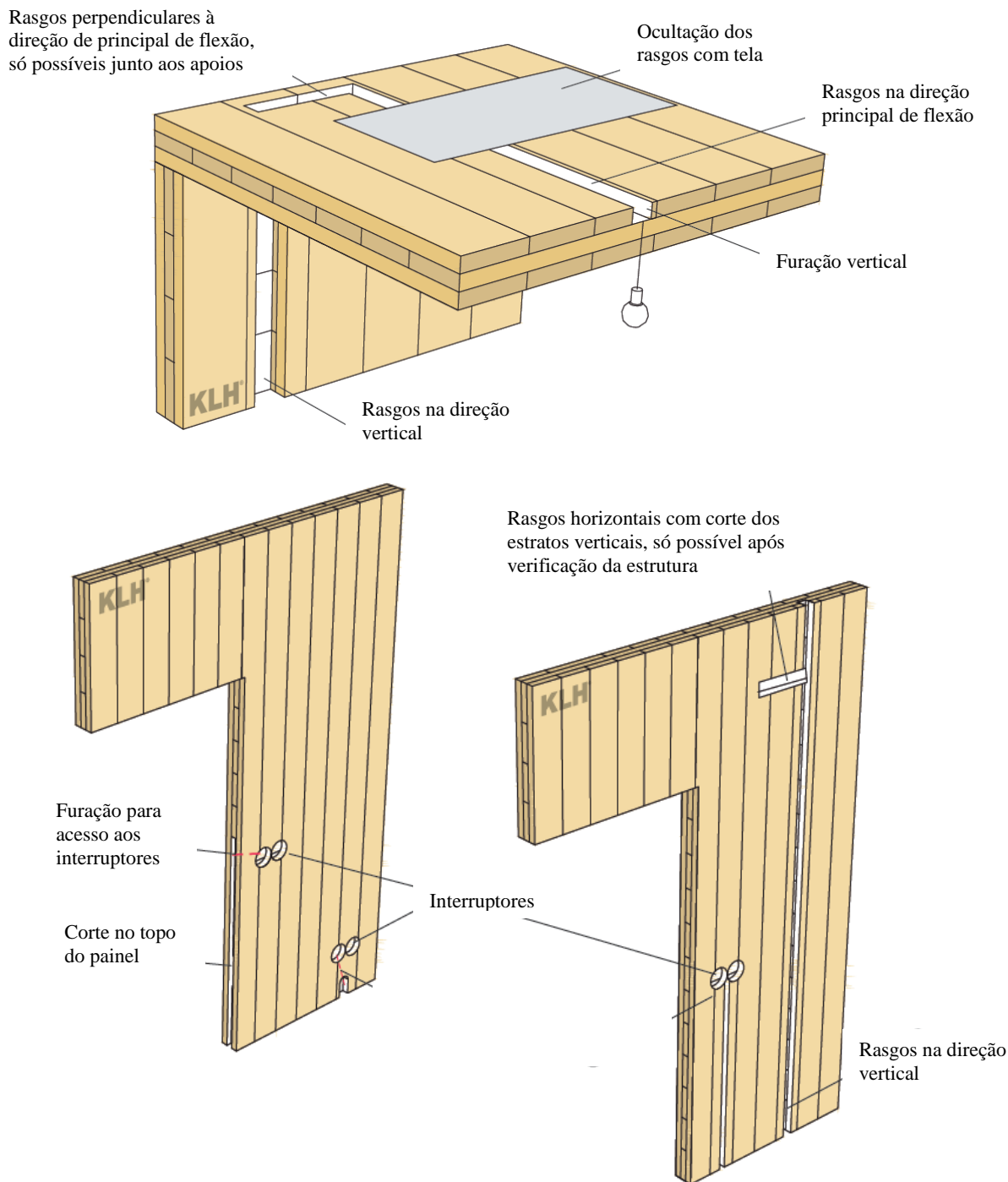


Figura 5 – Traçado de cortes e furações para passagem de cabos [8][10].



Figura 6 – Instalações elétricas em paredes com face à vista.

A Figura 7 ilustra alguns exemplos de construção em altura, possível através de um sistema estrutural com painéis X-Lam. No lado esquerdo encontra-se um edifício completado no final de 2012 em Melbourne, na Austrália. Possui 23 apartamentos, distribuídos por 10 pisos, sendo neste momento o edifício mais alto do mundo construído em madeira elevando-se a uma altura de 32,17m. Os painéis foram fornecidos a partir da Europa, através de contentorização e transporte marítimo. Ao centro, encontra-se também um edifício de habitação com 8 pisos, concluído em 2009 em Londres. À direita, estão um conjunto de edifícios de habitação com 5 pisos, construídos em Berlim.

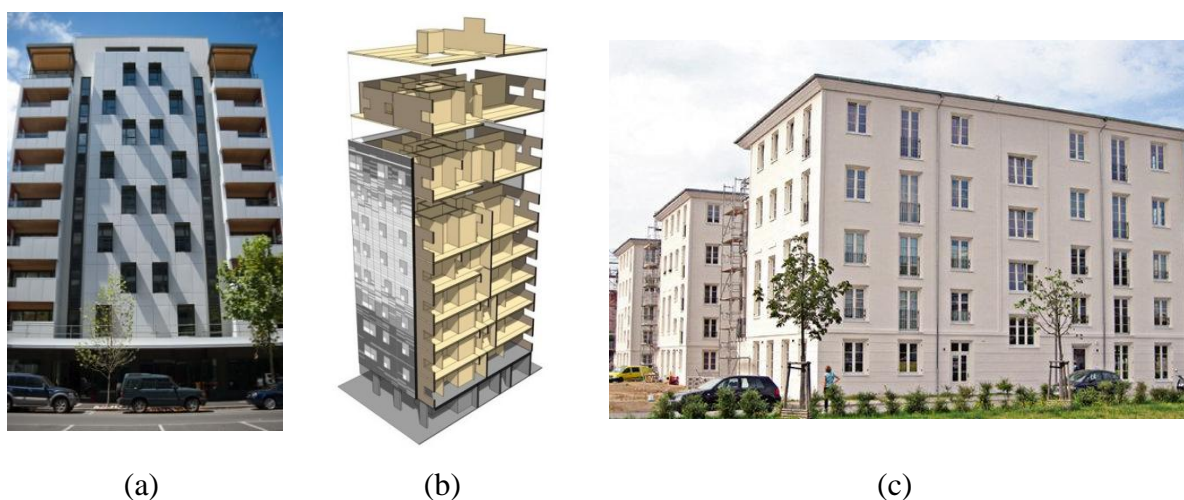


Figura 7 – Exemplos de edifícios de madeira com painéis X-Lam com vários pisos.

Na Figura 8 ilustra-se a aplicação dos painéis X-Lam na área da reabilitação de edifícios, na qual o sistema construtivo pode apresentar as seguintes vantagens:

- Reversibilidade da intervenção;
- Peso próprio da estrutura reduzido;
- Compatibilidade com outros materiais e sistemas construtivos;

- Estrutura esbelta, proporcionando ganho na área e altura disponíveis;
- Obra seca e pré-fabricação;
- Capacidade de contraventamento do edifício para efeito de reforço sísmico;
- Rapidez de intervenção.



Figura 8 – Reabilitação de edifício.

Outra tipologia de intervenção no domínio da reabilitação é o acréscimo de pisos num edifício existente. Neste tipo de intervenção o maior desafio é a interação da proposta com o existente. Este desafio passa pela redução das cargas na estrutura e pela utilização de processos construtivos o menos invasivos possível, que minimizem a produção de ruído, reduzam a produção de RCD e que permitam a manutenção do edifício em serviço durante a intervenção

Do ponto de vista sísmico, caso não exista um aumento significativo da massa do edifício (normalmente não ultrapassa os 10%), a intervenção oferece a oportunidade de dotar os edifícios antigos de um diafragma rígido no topo, melhorando assim o seu comportamento global. Na Figura 9 ilustra-se o modelo de intervenção num edifício antigo com 4 pisos.

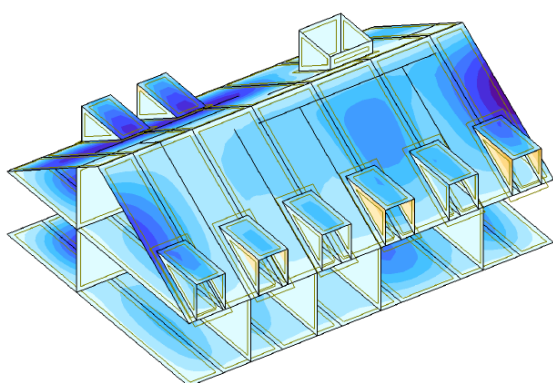


Figura 9 – Proposta de reabilitação de edifício.



### 3. DESEMPENHO ESTRUTURAL

#### 3.1. Análise Estrutural

Do ponto de vista estrutural identificam-se os seguintes aspetos relevantes para o entendimento do funcionamento destes elementos:

- I. A secção transversal deverá ser avaliada considerando a deformação por esforço transversal que ocorre nas lamelas transversais ao plano de flexão (Figura 10);
- II. Possibilidade de distribuição de cargas em duas direções ortogonais, considerando a configuração dos estratos e as dimensões do painel;
- III. Grande estabilidade dimensional, devido à restrição provocada pela colagem e disposição ortogonal dos estratos;
- IV. Utilização nas Classes de Serviço 1 e 2 e desaconselhamento na Classe de Serviço 3.

A Figura 10 apresenta esquematicamente os diagramas de tensões esperados na secção transversal de um painel X-Lam. Ao centro está representada a evolução das tensões normais, sendo notória a ausência de rigidez de flexão nos estratos transversais. À direita, na representação das tensões de corte, distingue-se entre as tensões de corte somente com componentes perpendiculares ao fio (corte rasante) e as tensões de corte ‘normais’ que possuem componentes perpendiculares e paralelas ao fio da madeira. A deformação provocada pelo esforço transversal rasante nos estratos ortogonais 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.

A resolução deste problema é proposta no anexo B do Eurocódigo 5. Embora com algumas limitações, designadamente, na aplicação de cargas concentradas, a prática mostra que os erros daí decorrentes são desprezáveis do ponto de vista prático de engenharia [12]. A título de exemplo, um painel com 5 estratos e 145 mm de espessura pode ter uma redução de 23% na rigidez à flexão, para um vão de 4,0 m.

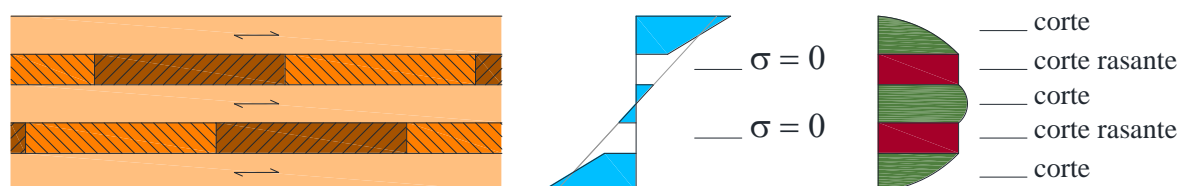


Figura 10 – Diagrama de tensões normais e de corte na secção transversal.

Em paredes, elementos solicitados tipicamente no seu plano, os esforços são absorvidos pelos estratos verticais, transmitindo tensões paralelas ao fio da madeira. Com esforços deste tipo, o dimensionamento é condicionado pela verificação à instabilidade por encurvadura. Em painéis com aberturas de vãos o lintel formado é analisado como uma viga (geralmente bi-encastrada), desprezando-se agora as lamelas verticais.

#### 3.2. Comportamento Sísmico

O comportamento dos edifícios de madeira com painéis X-Lam face à ação sísmica é amplamente reconhecido, tendo sido, por exemplo, o sistema escolhido para a reconstrução da cidade de L'Aquila, em Itália, após o sismo de 2009.

Os princípios orientadores que regem o bom comportamento sísmico deste sistema construtivo assentam nos seguintes valores: simplicidade estrutural, redundância estrutural, ação de diafragma ao nível dos pisos e das paredes, massa reduzida (menor força de inércia), rigidez elevada e capacidade de dissipação de energia nas ligações metálicas. As paredes de madeira constituem-se assim como elementos sísmicos primários de contraventamento e resistência às forças laterais, ligados por diafragmas rígidos ao nível dos pisos.

A área da reabilitação sísmica de edifícios antevê-se como um espaço de aplicabilidade muito interessante tirando partido da grande capacidade de contraventamento conferido pelos painéis, em simultâneo com uma massa reduzida e uma grande aptidão para a pré-fabricação.

Ensaio sísmicos realizados em edifícios à escala real comprovam o excepcional desempenho deste sistema construtivo sob uma acção sísmica intensa e repetida. Diversos trabalhos publicados reportam a integridade da estrutura face a várias réplicas de sismos de grande intensidade [3].

A Figura 11 ilustra a dissipação histerética de energia que ocorre principalmente em zonas especificamente projetadas para o efeito, designadas por zonas dissipativas ou zonas críticas (de acordo com o EC8). Nos sistemas com painéis de madeira este comportamento é conseguido exclusivamente nas ligações entre painéis, mas especialmente na ligação à base de fundação. Conforme exigência do Eurocódigo 5, os elementos de madeira permanecem em regime elástico-linear.

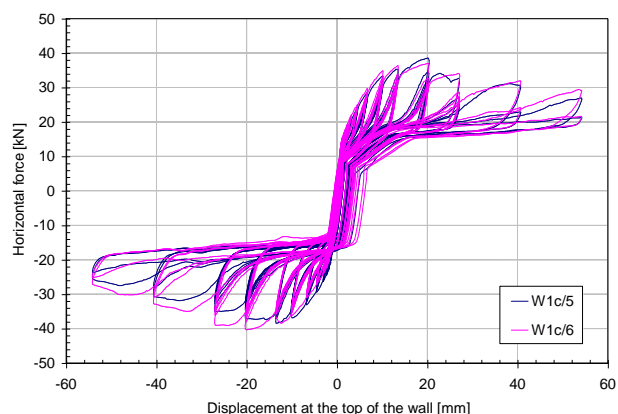


Figura 11 – Exemplo de comportamento de ligação sujeita a simulação de ação sísmica (elementos cedidos por Bruno Dujic)

#### 4. DESEMPENHO ENERGÉTICO

A baixa condutibilidade térmica da madeira,  $\lambda=0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  (valor típico da madeira de pinho), proporciona geralmente paredes mais esbeltas que a construção tradicional em alvenaria. A Figura 12 ilustra uma solução simples de parede exterior, caracterizada por um coeficiente de transmissão térmica,  $U=0,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , atingido com uma espessura total da parede na ordem dos 17cm.

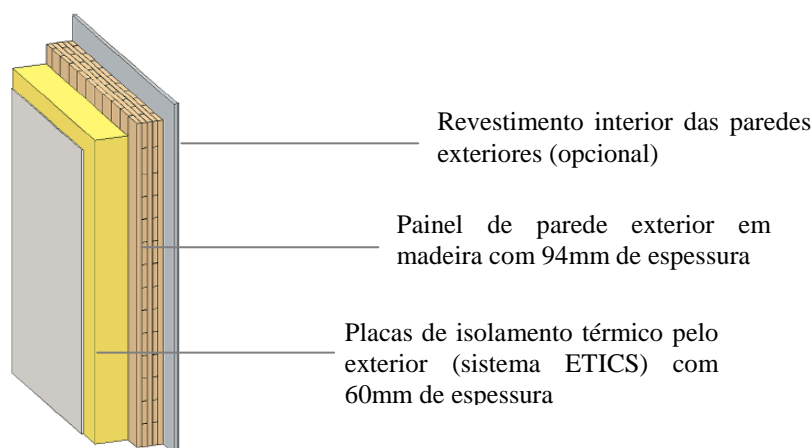


Figura 12 – Corte transversal representativo de uma parede exterior.

Em termos comparativos, a solução em madeira com painéis maciços apresenta um desempenho muito superior a outras soluções convencionais.

Por um lado não existem pontes térmicas planas associadas ao sistema construtivo (inexistência de pilares e/ ou vigas).

Por outro lado as pontes térmicas lineares apresentam valores significativamente menores do que as dos sistemas construtivos tradicionais. As pontes térmicas lineares são responsáveis por um aumento significativo do fluxo de calor através da envolvente relativamente às zonas correntes que lhe são adjacentes. É nestes locais que são reconhecidas habitualmente patologias na construção tradicional.

O melhor comportamento deste sistema construtivo relativamente às pontes térmicas lineares visualiza-se nas tabelas seguintes, em que se comparam os valores de  $\psi$  de três sistemas construtivos para duas situações de ponte térmica linear.

Tabela 1 – Coeficiente de perdas lineares,  $\psi$ , determinado segundo a metodologia da ISSO 10211, para a ligação de duas paredes verticais com isolamento pelo exterior [18].

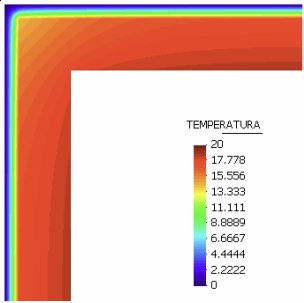
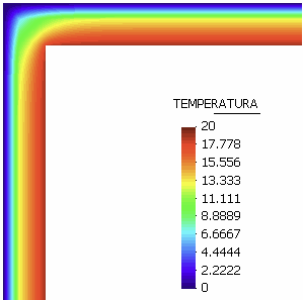
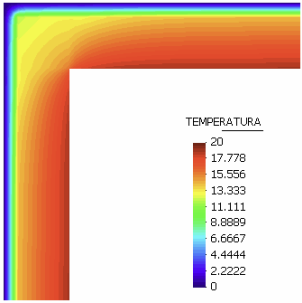
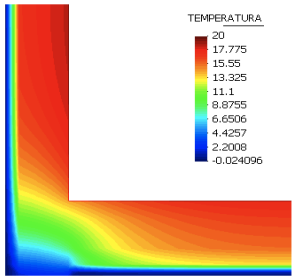
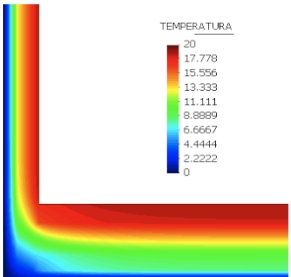
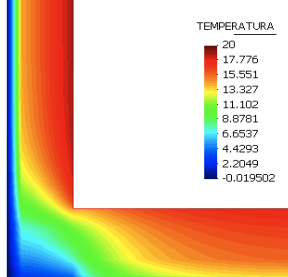
	Betão	Painel de madeira	Alvenaria de tijolo
			
espessura	22cm	10cm	22cm
$\Psi$ [W/(m.°C)]	0,196	0,050	0,165

Tabela 2 – Coeficiente de perdas lineares,  $\psi$ , determinado segundo a metodologia da ISSO 10211, para a ligação de parede exterior e pavimento sobre espaços não úteis ou exteriores, ambas as soluções com isolamento pelo exterior [18].

	Betão	Painel de madeira	Alvenaria de tijolo
			
esp. da parede	22cm	10cm	22cm
esp. pavimento	33cm	32cm	33cm
$\Psi$ [W/(m.°C)]	0,661	0,080	0,517

A massa volúmica da madeira proporciona ainda algum atraso térmico, isto é, o tempo que decorre entre a ocorrência de temperaturas elevadas na superfície exterior da parede e o atingir dessa temperatura no interior. Este facto é particularmente interessante no Verão porque mantém por mais tempo o interior da habitação com uma temperatura inferior. Esta é uma característica interessante, não relacionável com o valor da transmissão térmica,  $U$ , o qual traduz unicamente a quantidade de calor perdida.

## 5. DESEMPENHO AMBIENTAL

De acordo com um relatório das Nações Unidas, os edifícios são o maior contribuinte de emissões de gases com efeito de estufa (potencial de aquecimento global), estimando-se que a construção, operação, manutenção e demolição totalizem 40% das emissões totais [21]. Os edifícios de madeira possuem um enorme potencial para mitigar o aumento destas emissões, contabilizadas em todo o ciclo de vida, desde o corte na floresta, transformação, uso na construção, manutenção e destino de fim de vida. Tal facto deve-se a:

- Aumentarem o sequestro de carbono de longa duração;
- Substituírem outros materiais mais emissores de carbono e consumidores de energia (ex.: aço, alumínio, betão e alvenaria);
- A madeira possui um coeficiente de condutibilidade térmica reduzido, com potencial para edifícios energeticamente eficientes;
- Estimularem o plantio de mais árvores e aumento da área florestal.

Uma das premissas fundamentais é a opção por madeira com certificação de Gestão Florestal Sustentável e Cadeia de Responsabilidade.

Habitualmente os sistemas de avaliação de sustentabilidade de edifícios contabilizam somente os consumos energéticos na fase de exploração do edifício, deixando de fora a energia necessária para a construção (produção de materiais e execução em obra), designada por energia incorporada (*embodied energy*). Este último aspeto é muitas vezes pontuado indiretamente através da creditação de reutilização de materiais, reciclagem ou utilização de materiais locais. Contudo, a utilização de painéis X-Lam potencia significativamente a diminuição da energia incorporada do edifício [2].

Em média, por cada tonelada de carbono sequestrada em produtos de madeira, usados em substituição de outros produtos de construção, atinge-se uma redução dos gases de efeito de estufa de 2 toneladas de carbono [16].

Como exemplo, a declaração ambiental de produto dos painéis X-Lam produzidos pela KLH, numa análise *'cradle to gate'*, contabiliza um saldo positivo de 820 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> (Tabela 3) [6]. Este resultado é único nos materiais de construção.

Tabela 3 - Quantificação das categorias de impacto ambiental [6].

		Painel KLH com 57mm	Painel KLH com 320mm
Potencial de aquecimento global (GWP)	kg CO <sub>2</sub> eq.	- 46,42	- 264,18
Destruição da camada de ozono (ODP)	kg CFC 11 eq.	4,17E-07	2,19E-06
Potencial de acidificação (AP)	kg SO <sub>2</sub> eq.	0,023	0,126
Potencial de oxidação fotoquímica (POCP)	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	0,003	0,016
Potencial de eutrofização (EP)	kg PO <sub>4</sub> eq.	0,004	0,024

No final da vida útil do edifício os painéis podem ser retirados para utilização noutra estrutura mantendo as suas capacidades físicas e mecânicas, enviados para valorização energética da madeira ou reciclados para a produção de painéis de aglomerado de madeira. As colas de poliuretano (PUR) apresentam um desempenho ambiental comprovado que não restringe a sua utilização em fim de vida [8][15].

Os produtos biocidas de preservação, utilizados em aplicações superficiais no tratamento da madeira, que contêm substâncias ativas tais como a cipermetrina, o propiconazol, o IPBC, o tebuconazol, a diclofluanida, a permetrina, também não constituem obstáculo ao destino de fim de vida dos painéis, conforme informação constante em [9].

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção com painéis X-Lam apresenta-se como um avanço tecnológico recente para a engenharia e arquitetura, mas a experiência obtida nos inúmeros projetos já realizados, conjuntamente com o conhecimento secular do material, permitem afirmar da sua fiabilidade e robustez.

As características que perspetiva ao nível da liberdade arquitetónica, capacidade estrutural e desempenho ambiental, revelam uma alternativa bastante positiva às soluções tradicionais de construção em betão, alvenaria ou aço.

Em Portugal, esta mudança de paradigma, se aproveitada por técnicos, promotores e construtores, poderá permitir a longo prazo um parque edificado mais sustentável nas vertentes ambientais, económica e social. Somente a valorização da madeira, como produto de elevado valor acrescentado, poderá aliciar produtores florestais a investir na manutenção ou até aumento das áreas povoadas. Para as indústrias de base florestal este deverá ser o único caminho para projetos industriais sustentáveis.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] AIFF, Relatório de caracterização da fileira florestal, 80pp. 2010.
- [2] Bendewald, M., Zhai, Z., Using carrying capacity as a baseline for building sustainability assessment. *Habitat International* 37 (2013) 22-32. Elsevier.
- [3] Ceccotti, A. New Technologies for Construction of Medium-Rise Buildings in Seismic Regions: The Xlam Case, *Structural Engineering International*, 2/2008, IABSE, (2008) p. 156-165.
- [4] EN 13017-1 – Solid wood panels. Classification by surface appearance. Part 1: Softwood. *European Standard, CEN*. 2000
- [5] EN 18041-1 Timber structures. Strength graded structural timber with rectangular cross section. Part 1– Requirements. CEN/TC 124 - Timber structures. *European Standard, CEN*. 2011.
- [6] IBU, KLH Solid timber panels (cross laminated timber). Environmental Product Declaration – EPD-KLH-2012111-E. 2012.
- [7] ICNF, IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental. Resultados preliminares v1.1, 34 pp, Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. Lisboa. 2013.
- [8] Informação em <http://www.klh.at>
- [9] Informação em <http://www.madeiraurbana.com/>
- [10] Informação em <http://www.tisem.pt/>
- [11] Jorge, L., Dias, A., X-Lam panels in swimming-pool building – monitoring the environment and the performance. 2<sup>nd</sup> International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures (SHATIS'13). 4-6 Set. Trento, Italia (artigo submetido)
- [12] Jorge, L., Estruturas mistas madeira-betão com utilização de betão de agregados leves. *Tese de Doutoramento*. FCTUC. 2006.
- [13] OIB, European Technical Approval ETA 06/0138 – KLH solid wood slabs. 2011.
- [14] prEN 16351 Timber structures - Cross laminated timber – Requirements. CEN/TC 124 - Timber structures. *European Standard, CEN*. 2011.
- [15] Purbond AG, Assessment with respect to ecology and health. 2009.
- [16] Sathre R. J., O'Connor J., Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environ Sci Pol* 13:104–114. 2010
- [17] Schickhofer, G., CLT – European Experiences, *Cross-Laminated Timber Symposium*. Vancouver Convention Center. Canada. 2011
- [18] Simões, N., Comportamento térmico de soluções em madeira - Adequação ao novo RCCTE. *Encontro Nacional de Engenharia de Madeiras (ENEN09)*. DEC-FCTUC. 2009.
- [19] Teibinger, M. Urban Timber Houses in Vienna, *Structural Engineering International*, 2/2008, IABSE, (2008) p. 114-117.
- [20] TRADA, Introduction to specifiers WIS 2/6-61. 2009.
- [21] UNEP, Building and climate change: status, challenges and opportunities. United Nations Environment Program. [http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTI\\_x0916xPA-BuildingsClimate.pdf](http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTI_x0916xPA-BuildingsClimate.pdf). 2007.

## **Análise de ciclo-de-vida de casas em madeira**

Helena M. Gervásio

*ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra*  
hger@dec.uc.pt

### **SUMÁRIO**

Análises de ciclo-de-vida são ferramentas correntemente utilizadas, no âmbito da sustentabilidade, para a avaliação de potenciais impactos de um produto ao longo de todo o seu ciclo-de-vida. Este tipo de análise aplica-se também ao sector da construção e pode servir de base para a rotulagem ambiental de edifícios.

A madeira como material de construção tem um reconhecido potencial no que diz respeito à minimização da categoria ambiental de aquecimento global devido ao sequestro de carbono durante o seu ciclo de crescimento na floresta. Contudo, numa análise de ciclo-de-vida, este é um assunto controverso. A consideração dos potenciais benefícios da madeira implica um modelo de análise robusto que aborde explicitamente o problema e que inclua as complexas relações entre os diversos processos.

Assim, neste artigo é apresentada uma revisão das diversas metodologias de ciclo-de-vida, dando especial ênfase à forma como os benefícios da madeira são tidos em consideração nas diversas abordagens.

**PALAVRAS-CHAVE: SUSTENTABILIDADE, CICLO-DE-VIDA, MADEIRA, CARBONO**

### **1. INTRODUÇÃO**

Actualmente, os recursos naturais ainda disponíveis são consumidos a uma escala insustentável pelos países industrializados, particularmente no que diz respeito ao recurso a combustíveis fósseis não renováveis.

Na União Europeia (UE) o sector da construção corresponde a 10% do Produto Interno Bruto, sendo a taxa correspondente ao emprego na construção civil de 7%. Na UE metade de todas as matérias-primas retiradas da superfície da terra são utilizadas na construção e mais de ¼ de todos os resíduos sólidos produzidos são provenientes da construção civil [1]. A Construção Sustentável foi definida pela primeira vez em 1994 por Charles Kibert, durante a Conferência Internacional sobre Construção Sustentável que teve lugar em Tampa, como “a criação e o planeamento responsável de um ambiente construído saudável com base na optimização dos recursos naturais disponíveis e em princípios ecológicos”. A Construção Sustentável implica a aplicação dos princípios do Desenvolvimento Sustentável ao ciclo global da construção, desde a extracção de matérias primas até à sua demolição e destino final dos resíduos resultantes – análise do berço à cova – e é um processo holístico que visa estabelecer um equilíbrio entre o ambiente natural e o ambiente construído.

A indústria da construção, sendo um dos principais responsáveis pela escassez dos recursos naturais e pela produção de resíduos, desempenha um papel fundamental no Desenvolvimento Sustentável global. Desta forma, o sector da construção para ser considerado sustentável tem pela frente um grande desafio, talvez maior do que em qualquer outro sector industrial.

Habitualmente a Sustentabilidade é definida em três dimensões: ambiental, económica e sócio-cultural. A sustentabilidade ecológica tem três objectivos principais: protecção dos recursos (optimização e eficácia na utilização dos recursos materiais, energia, solos e reciclagem); protecção do ecossistema (gestão dos resíduos, emissões, poluentes e utilização da terra); e a protecção da saúde e do bem estar humano (toxicidade nos seres humanos provocada pelos materiais constructivos). O principal objectivo da sustentabilidade económica é a minimização dos custos relativos ao completo ciclo de vida do sistema construtivo, tendo em consideração todos os requisitos de segurança e qualidade do proprietário. Os aspectos sócio-culturais, tais como bem estar, saúde, segurança e conforto, são de natureza muito mais subjectiva e conseqüentemente são muito mais difíceis de quantificar e ter em consideração. Contudo, estes aspectos são cruciais e muitas vezes impõem soluções que contradizem as soluções mais eficazes em termos ambientais e/ou económicos.

Assim, uma metodologia para a avaliação da sustentabilidade de um sistema construtivo deve considerar as três dimensões da sustentabilidade referidas nos parágrafos anteriores (ver Figura 1) e deve abranger o seu ciclo de vida completo.

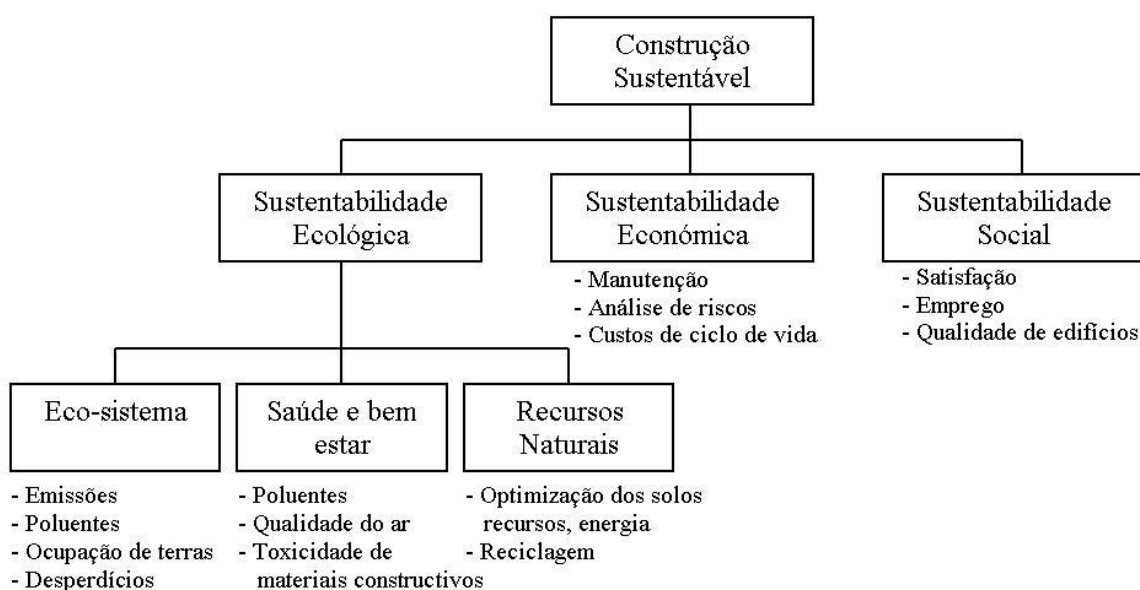


Figura 1 – As dimensões da sustentabilidade.

A nível da União Europeia, a Comissão Europeia tem desenvolvido grandes esforços no sentido de desenvolver e promover estratégias para minimizar os impactos ambientais provocados pela actividade da indústria da construção e pelo ambiente construído, e simultaneamente melhorar as condições para a competitividade da indústria da construção. No contexto da Comunicação da Comissão Europeia sobre a competitividade da indústria da construção [2], os principais aspetos da sustentabilidade que afectam a indústria da construção foram identificados como sendo os seguintes:

- Materiais de construção amigos do ambiente - Aproximadamente 50% de todos os materiais extraídos da crosta terrestre são transformados em materiais e produtos



para a construção. Quando instalados em edifícios, e incluindo a energia durante a sua utilização, representam 40% de toda a energia utilizada. Além do mais, esses mesmos materiais quando transformados em resíduos sólidos, contabilizam cerca de 50% de todos os resíduos produzidos antes da reciclagem ou reutilização;

- Eficiência energética em edifícios – A construção, operação e consequente demolição de edifícios contabiliza aproximadamente 40% de toda a produção de energia e contribui para uma percentagem semelhante de emissões de gases com efeito de estufa. O potencial para a redução da emissão de gases com efeito de estufa, em edifícios existentes ou novos, é maior do que em qualquer outro sector, representando consequentemente uma fatia considerável na redução de emissões de forma a atingirem-se os objectivos definidos no Protocolo de Kyoto;
- Gestão de desperdícios da construção e/ou demolição – Os desperdícios da construção e demolição constituem a maior fonte de resíduos sólidos por peso da União Europeia. A disposição destes resíduos representa cada vez mais dificuldades em muitos países da Europa. É necessário reforçar a ideia da minimização dos resíduos sólidos e da reciclagem.

As componentes económica e social não são abordadas neste artigo, sendo o ênfase dado apenas à componente ambiental.

A madeira como material de construção tem um reconhecido potencial no que diz respeito à minimização da categoria ambiental de aquecimento global devido ao sequestro de carbono durante o seu ciclo de crescimento na floresta. Contudo, numa análise de ciclo-de-vida, este é um assunto controverso. Assim, neste artigo é apresentada uma revisão das diversas metodologias de ciclo-de-vida, dando especial ênfase à forma como os benefícios da madeira são tidos em consideração nas diversas abordagens. No final são tecidas algumas conclusões.

## **2. SUSTENTABILIDADE DA MADEIRA**

Como referido na secção anterior, a sustentabilidade da construção passa pela redução do uso de matérias primas não renováveis, pela minimização do consumo de energia durante a fase de utilização do edifício e a redução dos resíduos provenientes do fim-de-vida do mesmo.

A madeira é um material renovável que cresce em abundância na Europa e com baixa energia incorporada, i.e., necessita de reduzida energia não renovável para a sua produção e aplicação em obra.

A madeira tem boas propriedades térmicas o que se reflete em menor emissões devidas ao uso de energia para aquecimento e arrefecimento.

Como material de construção, a madeira é um material atraente do ponto de vista estético, leve, resistente, o qual permite a concepção de estruturas flexíveis e simultaneamente arrojadas, tal como ilustrado nas figuras 2 a 5.



Figura 2 – Cobertura em madeira (<http://www.naturallywood.com/>).



Figura 3 - Bloco de apartamentos pré-fabricados (<http://inhabitat.com/bloc10-unique-prefab-condos-showcase-sustainably-sourced-wood-in-winnipeg/>).



Figura 4 – Moradia residencial (<http://www.woodstructuresymposium.com/wp-content/uploads/2011/06/Wohnhaus-Schweninger-300x208.jpg>).

Tal como o exemplo ilustrado na Figura 4, através de quantidades reduzidas de materiais, a madeira permite criar estruturas complexas e resistentes.

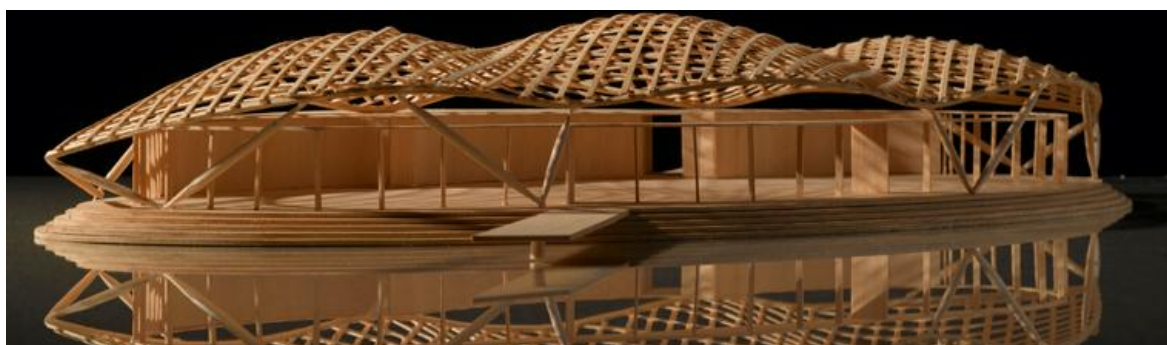


Figura 5 – Edifício educacional para abrigo de animais (<http://www.exploration-architecture.com/section.php?xSec=46>).

Do ponto de vista ambiental, a madeira oferece ainda um potencial benefício no que respeita a redução de emissões de CO<sub>2</sub>, as quais são a maior causa do aquecimento global, através de: (i) o carbono sequestrado e armazenado pelas florestas, (ii) o carbono armazenado nos produtos de madeira e (iii) a substituição de materiais com conteúdo intensivo de carbono. Este assunto será abordado nas próximas secções.

### 3. ANÁLISES DE CICLO-DE-VIDA

#### 3.1. Metodologia de Análise de Ciclo-de-Vida

Tradicionalmente o processo global de concepção concentra-se essencialmente na fase de construção, sendo o objectivo principal a optimização da eficiência e a minimização de custos durante o desenvolvimento do projecto e a construção. De forma a tornar estes processos mais sustentáveis é necessário expandir estas metodologias de curto prazo de forma a abranger a vida útil completa da estrutura. Uma Análise de Ciclo de Vida (ACV) tem em consideração todos os aspectos da construção, desde a extracção dos materiais, concepção inicial, construção, gestão e manutenção ao longo da vida útil, até à demolição e reciclagem de materiais, tal como representado na Figura 6.

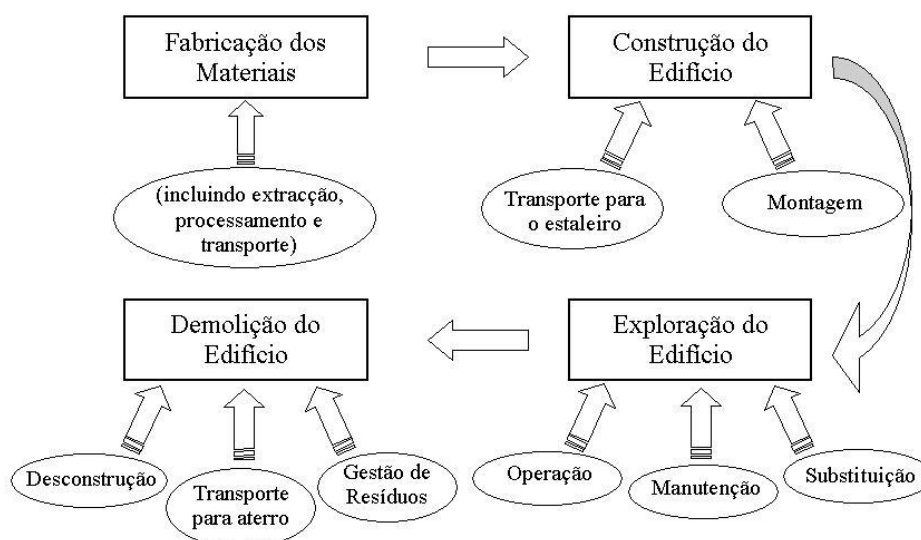


Figura 6 – Ciclo de vida de um edifício.

Uma análise de ciclo de vida é um processo complexo, já que envolve a quantificação de fluxos de energia e de recursos em cada uma das fases da vida de uma obra e a caracterização desses fluxos nas diversas categorias de impactos ambientais. Quantificar um processo completo de uma obra, englobando todas as etapas da sua vida, pode ser um processo infinito, sendo por isso necessário estabelecer objectivos e delimitar o âmbito do estudo.

As normas internacionais ISO, série 14040 [3][4], especificam o âmbito geral e estabelecem os princípios e os requisitos necessários para conduzir e interpretar uma análise de ciclo de vida. De acordo com estas normas, uma análise de ciclo de vida deve incluir as fases de definição de objectivos e âmbito do trabalho, análise de inventários, avaliação de impactos e interpretação de resultados, tal como ilustrado na Figura 7.

Na fase inicial de uma análise de ciclo de vida são definidos os objectivos do estudo e o âmbito do trabalho. Numa análise de inventário são quantificados e categorizados todos os

materiais, energia e água fluindo de fora para o interior (inputs) e do interior para fora (outputs) de cada processo no ciclo de vida de cada item (incluindo poluentes). Na fase seguinte os impactos são avaliados, i.e., o inventário de inputs e outputs são relacionados com os impactos efectivos (ou estimados) baseados numa série de indicadores ambientais. Finalmente, na fase de interpretação são tecidas conclusões relativas aos impactos ambientais de acordo com os objectivos estabelecidos no início do estudo.

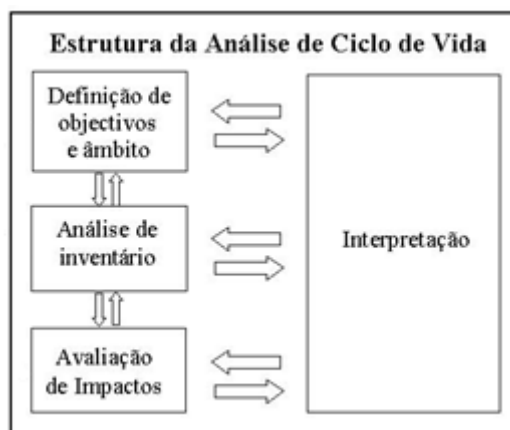


Figura 7 – Fases de uma análise de ciclo de vida [4].

De entre os vários indicadores ambientais que fazem parte das diversas metodologias de ACV, neste artigo apenas será abordado o *potencial de aquecimento global*. Este indicador foi definido pelo IPCC (*Intergovernment Panel on Climate Change*) e representa o aumento da temperatura terrestre possivelmente devido ao uso de combustíveis fósseis e outros processos a nível industrial, que levam à acumulação na atmosfera de gases propícios ao efeito de estufa, tais como o Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), o Metano (CH<sub>4</sub>), o Óxido de Azoto (N<sub>2</sub>O) e os CFCs.

#### 4. CICLO-DE-VIDA DE ESTRUTURAS EM MADEIRA

Como já referido, as análises de ciclo-de-vida têm vindo a ser cada vez mais utilizadas para a avaliação ambiental de produtos tendo em consideração o seu ciclo-de-vida completo. A madeira e os produtos derivados da madeira constituem depósitos temporários de carbono, apresentando por isso um potencial interessante no que respeita ao aquecimento global. Assim, os potenciais benefícios da madeira ou produtos derivados devem ser tomados em consideração na avaliação ambiental de produtos. Contudo, a quantificação dos eventuais benefícios da madeira em termos de depósito de CO<sub>2</sub> é complexa e requer um modelo robusto que tenha em consideração as ligações entre os diversos compartimentos. Atualmente, não existe actualmente ainda consenso na comunidade científica quanto ao modelo a utilizar.

##### 4.1. Revisão bibliográfica

Ao longo dos últimos, a lista de bibliografia dedicada às análises de ciclo-de-vida, e em particular, relacionadas com o ciclo-de-vida de estruturas em madeira é extensa.

A fase de inventário é objecto de vários trabalhos publicados [5][6][7][8][9][10][11][12][13][14].

Muitos outros trabalhos estudos focam-se na análise energética de edifícios e/ou no balanço de carbono. Boyd et al. [15] e Cole e Kernan [17] concluem que os produtos derivados da madeira são menos exigentes em termos energéticos do que outros materiais de construção. Da análise da fase construção, Cole [16] conclui que uma estrutura em madeira é ligeiramente mais exigente em termos energéticos do que uma estrutura em aço, mas muito menos exigente do que uma estrutura em betão. Conclusões semelhantes são obtidas de análises comparativas entre edifícios em madeira e outros sistemas estruturais apresentadas por [18][19][20][21][22][23][24][25][26][27][28][29][30][31].

Outro tema recorrente nos vários trabalhos publicados diz respeito ao balanço de carbono. Vários autores sustentam que em comparação com outros materiais o balanço de carbono de produtos estruturais em madeira é substancialmente inferior [32][33][34].

De forma geral, nos trabalhos referidos nos parágrafos anteriores, o ciclo de carbono é abordado de forma superficial. Em muitos trabalhos, as análises são efectuadas com base em bases de dados existentes, sem discutir de forma pormenorizada os dados considerados para a produção dos produtos em madeira.

Contudo alguns trabalhos discutem de forma sistematizada o ciclo de carbono na análise de ciclo de vida de produtos em madeira. Schlamadinger e Marland [35] apresentam um modelo computacional para análise do papel dos produtos de madeira no ciclo de carbono. Com base neste modelo os autores concluíram que a substituição de combustíveis fósseis ou de derivados por biomassa é uma forma importante de reduzir as emissões de carbono. Uma análise de ciclo-de-vida de bambu é apresentada por Vogtlander [36], considerando de forma integral o sequestro de CO<sub>2</sub>. Nesta a análise o autor conclui que os produtos em bambu analisados são neutros relativos a CO<sub>2</sub>.

## 4.2. Ciclo do carbono e sequestro de carbono

Existem no planeta vários reservatórios de carbono (atmosfera, oceanos e solo), os quais trocam carbono entre si [36], tal como ilustrado na Figura 8. Antes da industrialização o ciclo global do carbono encontrava-se basicamente em equilíbrio, não havendo trocas significativas de carbono entre reservatórios.

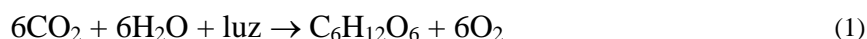
Contudo, o aumento da concentração de gases com efeito de estufa (nos quais se inclui o CO<sub>2</sub>) na atmosfera ao longo do último século, devido às atividades antrópicas como a queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra, provocou um desequilíbrio entre os reservatórios naturais de carbono, conduzindo a trocas entre os mesmos, e tem contribuído consideravelmente para o aquecimento do planeta. De acordo com o IPCC, de 1906 a 2005, a temperatura média da Terra aumentou cerca de  $0,74 \pm 0,18^\circ\text{C}$ , e estima-se que em 2100 deva aumentar de 2 a  $4,5^\circ\text{C}$  [37].

As emissões antrópicas anuais de CO<sub>2</sub> são [37]:

- 5.5 Gt emissões de carbono por ano devidas à queima de combustíveis fósseis;
- 1.6 Gt emissões de carbono por ano devidas à desflorestação em áreas tropicais e sub-tropicais;
- 0.5 Gt emissões de carbono sequestradas por ano devidas à reflorestação no hemisfério norte.

As árvores nas florestas representam importantes reservatórios de carbono. Nas plantas em crescimento, o carbono é extraído e armazenado devido ao processo da fotossíntese.

A reação química associada ao processo da fotossíntese é dada por:



O carbono é armazenado nas plantas, libertando parte do oxigênio e a água é dividida em  $\text{H}_2$  (armazenado na planta) e  $\text{O}_2$  (libertado para atmosfera). No entanto, quando a planta se degrada ou é queimada, o  $\text{CO}_2$  é libertado.

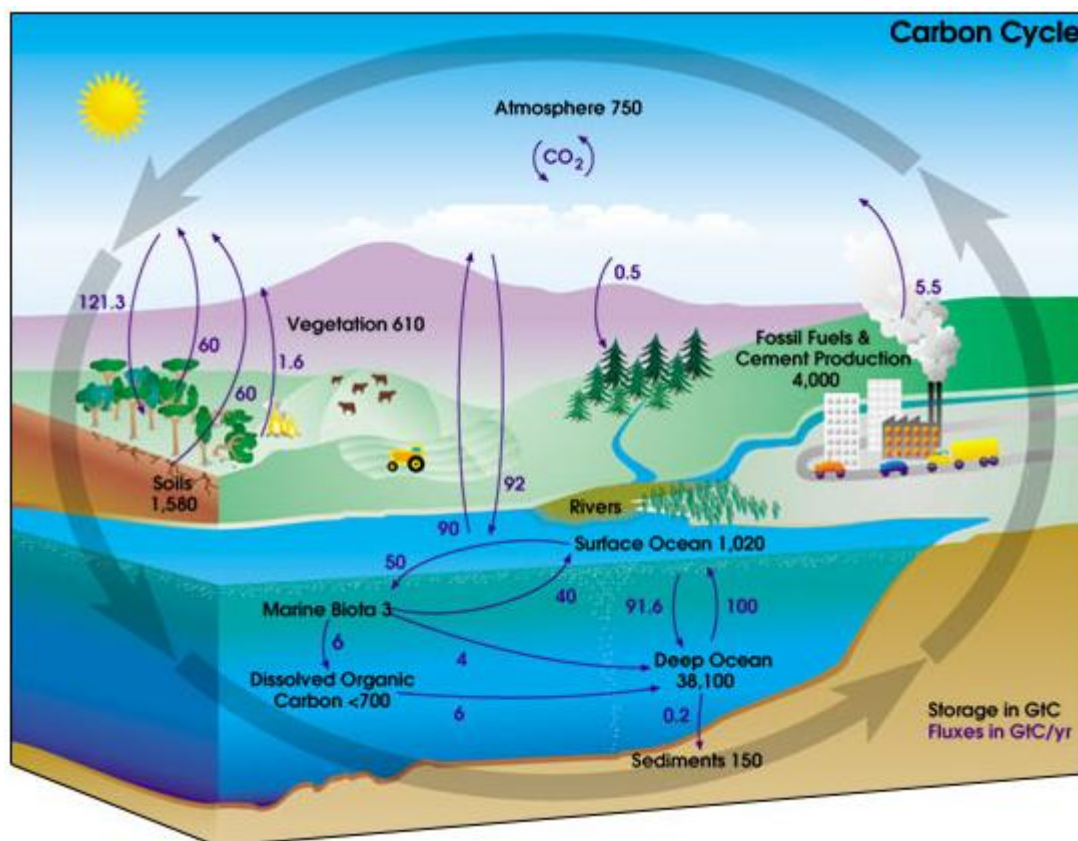


Figura 8 – Ciclo global do carbono (NASA Earth Observatory:

[http://www.nasa.gov/centers/langley/news/researchernews/rn\\_carboncycle\\_prt.htm](http://www.nasa.gov/centers/langley/news/researchernews/rn_carboncycle_prt.htm)).

Assim, a madeira e os produtos derivados constituem depósitos temporários de carbono. O papel destes depósitos na mitigação do problema do aquecimento global e a sua modelação, em diversos tipos de análise, são temas complexos para os quais não existe consenso generalizado na comunidade científica.

De acordo com Vogtlander [36], quando se pretende quantificar o sequestro de carbono é preciso considerar dois factores: o carbono sequestrado nas florestas e o carbono sequestrado nos produtos em madeira utilizado na construção. Se não houver variação na área de florestas e no volume de construções em madeira, não há variação no sequestro de carbono, e por conseguinte, não há efeito nas emissões de carbono. Contudo, quando a área de floresta e o volume de construção aumentam em simultâneo, nesse caso haverá sequestro extra de carbono, tal como ilustrado na Figura 9. Na generalidade, esta é a situação no hemisfério norte. No entanto, no hemisfério sul a situação é a diferente [36]. Neste caso, a procura de madeira tropical é superior à fornecida pela floresta, conduzindo à desflorestação e conseqüentemente a emissões de carbono.

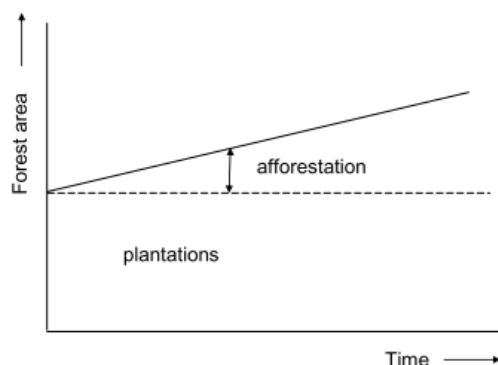


Figura 9 – Reflorestação e sequestro extra de carbono [36].

Assim, é impossível quantificar o eventual benefício do sequestro de carbono na madeira sem ter em consideração simultaneamente o crescimento global da produção e da procura da madeira.

### 4.3. ACV e modelação do sequestro de CO<sub>2</sub>

A modelação do sequestro de CO<sub>2</sub> deve ser entendida em dois níveis distintos [36]:

- a nível do ciclo-de-vida do produto, o qual é normalmente o domínio das ACV;
- a nível do ciclo global do CO<sub>2</sub>, o qual não é normalmente o domínio das ACV.

A nível do produto, a modelação do CO<sub>2</sub> biogénico, ilustrada na Figura 10, é consensual [36]. Nos produtos em madeira, o CO<sub>2</sub> sequestrado pelas árvores durante o seu crescimento é libertado para atmosfera no seu fim-de-vida, conduzindo a um balanço líquido nulo, ou seja, o ciclo do CO<sub>2</sub> biogénico é neutro.

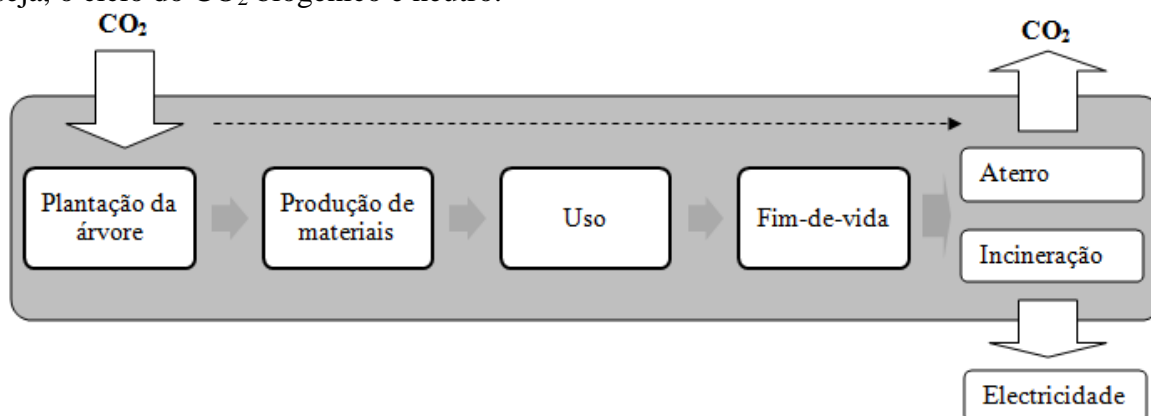


Figura 10 – Ciclo de CO<sub>2</sub> a nível do produto (adaptado de [36]).

Esta abordagem é também proposta pelo IPCC (*Intergovernment Panel on Climate Change*) na quantificação do inventário de emissões de CO<sub>2</sub> [38]. Apesar de se reconhecer que o *input* de carbono nos produtos em madeira (sequestro da atmosfera) pode não ser, em geral, exactamente igual ao *output* (libertação para a atmosfera no fim-de-vida), o balanço final pode ser considerado nulo, se a variação anual de carbono nas reservas de produtos em madeira for insignificante [38]. Se, por outro lado, este balanço for significativo, então a contribuição dos produtos em madeira poderá ser quantificada de acordo com um dos métodos propostos pelo IPCC. No entanto, esta quantificação implica fazer a modelação ao nível do ciclo global do CO<sub>2</sub>, o qual, como já referido, não é normalmente o domínio das ACV.

Seguindo ainda a mesma abordagem, o *General guide for Life Cycle Assessment* [39] refere que o armazenamento temporário de carbono e as emissões adiadas de gases com efeito de estufa não devem ser considerados nos resultados de uma ACV, já que uma ACV *per se* não desconta as emissões ao longo do tempo, a não ser que o objectivo do estudo contemple explicitamente estas questões (considerando o tempo como variável na análise). Note-se, no entanto, que se no final de vida o produto for incinerado, o sistema pode gerar energia, evitando assim o recurso a energia proveniente de combustíveis fósseis. Neste caso, numa ACV, poderão ser obtidos créditos para o sistema em análise (ver figura 10). Assim, o efeito do sequestro de CO<sub>2</sub> só pode ser analisado a nível global [36], tendo em consideração todos os depósitos naturais de carbono, as relações entre eles, e as variações na procura e na oferta dos produtos em madeira, tal como explicado na sub-secção anterior. Outras metodologias propostas por diversos autores são revistas por Brandão e Levasseur [40] e Pawelzik et al. [41].

## 5. CONCLUSÕES

A utilização de materiais renováveis e com reduzidos impactos ambientais contribuem de forma significativa para um sector da construção mais sustentável. Neste contexto, a madeira como material de construção pode contribuir para este objectivo.

No entanto, numa ACV, a consideração dos potenciais benefícios do sequestro de carbono não podem simplesmente ser tidos em consideração sem que seja feita uma análise pormenorizada de todas as relações existentes entre os diversos processos. No entanto, esta abordagem simplista tem sido adoptada por muitos autores na análise comparativa entre materiais de construção e estruturas, conduzindo a resultados pouco claros e com duvidosa credibilidade. Assim, numa ACV em que o problema não seja abordado de forma explícita e apropriada, o balanço do CO<sub>2</sub> biogénico deverá ser considerado neutro.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] Maydl P. Sustainable Engineering: State-of-the-art and Prospects, *Structural Engineering International* 14(3), p. 176-180, 2004.
- [2] Communication from the European Commission: “The Competitiveness of the Construction Industry” COM (97)539, 1997.
- [3] ISO 14040. Environmental management – life cycle assessment – Principles and framework. *International Organization for Standardization*. Geneva, Switzerland, 2006.
- [4] ISO 14044. Environmental management – life cycle assessment – Requirements and guidelines. *International Organization for Standardization*. Geneva, Switzerland, 2006.
- [5] Johnson L., Lippke B., Marshall J., Comnick J. Life-cycle impacts of forest resource activities in the Pacific Northwest and the Southeast United States. *Wood Fiber Sci.* (37), pp, 30 – 46, 2005.
- [6] Lippke B., Wilson J., Bowyer J., Perez-Garcia J., Bowyer J., Meil J. CORRIM: life cycle environmental performance of renewable building materials. *Forest, Products Journal* 54 (6), 8 and 19 June 2004.
- [7] Milota M., West C., Hartley I. Gate-to-gate life-cycle inventory of softwood lumber production. *Wood Fiber Sci.* (37), pp. 47–57, 2005.



- [8] Perez-Garcia J., Lippke B., Briggs D., Wilson J., Bowyer J., Meil J. The environmental performance of renewable building materials in the context of residential construction. *Wood Fiber Sci.* (37), pp. 3-17, 2005.
- [9] Perez-Garcia J., Lippke B., Comnick J., Manriquez C. An assessment of carbon pools, storage, and wood products market substitution using life-cycle analysis results. *Wood Fiber Sci.* 37, pp. 140-148, 2005.
- [10] Price-Robinson C. CORRIM UPDATE: new research provides more proof of the environmental merits of wood products. *Engineered Wood J.* 7 (2), 2004.
- [11] Puettmann M., Wilson J. Life-cycle analysis of wood products: cradle-to-gate LCI of residential building materials. *Wood Fiber Sci.* (37), pp. 18-29, 2005.
- [12] Salazar J., Meil J. Prospects for carbon-neutral housing: the influence of greater wood use on the carbon footprint of single-family residence. *J. Cleaner Prod.* 17, 1563-1571, 2009.
- [13] Wilson J. Use of wood products to reduce global warming. Chapter 7. In: *Forest, Carbon and Climate Change*. Oregon Forest Resources Institute, Portland, OR, 2006.
- [14] Winistorfer P., Chen Z., Lippke B., Stevens N. Energy consumption and greenhouse gas emissions related to the use, maintenance and disposal of a residential structure. *Wood Fiber Sci.* (37), pp. 128-139, 2005.
- [15] Boyd C., Koch, McKean H., Morschauer C., Preston S. Wood for structural and architectural purposes: Panel II Report. *Committee on Renewable Resources for Industrial Materials, Wood and Fiber* 8(1), pp. 3–72, 1976.
- [16] Cole R. Energy and greenhouse gas emissions associated with the construction of alternative structural systems. *Building and Environment* 34(3), pp. 335–348, 1999.
- [17] Cole R., Kernan P. Life-cycle energy use in office buildings. *Building and Environment* 31(4), pp. 307–317, 1996.
- [18] Borjesson P., Gustavsson L. Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life cycle and forest land-use perspectives. *Energy Policy* 28(9), pp. 575–588, 2000.
- [19] Scharai-Rad M., Welling J., Environmental and Energy Balances of Wood Products and Substitutes, *Food and Agricultural Organization of the United Nations*, 2002.
- [20] Petersen A., Solberg B., Greenhouse gas emissions and costs over the lifecycle of wood and alternative flooring materials. *Climatic Change* 64 (1–2), pp. 143–167, 2004.
- [21] Petersen A., Solberg B. Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction, Case: beams at Gardermoen airport. *Environmental Science and Policy* 5(2), pp. 169–182, 2002.
- [22] Petersen A., Solberg B. Substitution between floor constructions in wood and natural stone: comparison of energy consumption, greenhouse gas emissions, and costs over the lifecycle. *Canadian Journal of Forest Research* 33 (6), pp. 1061–1075, 2003.
- [23] Gustavsson L., Pingoud K., Sathre R. Carbon dioxide balance of wood substitution: comparing concrete-and wood-framed buildings. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11(3), pp. 667–691, 2006.
- [24] Gustavsson L., Sathre R. Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment* 41 (7), pp. 940–951, 2006.
- [25] Sathre R., Gustavsson L., Energy and carbon balances of wood cascade chains, Resources. *Conservation and Recycling* 47(4), pp. 332–355, 2006.

- [26] Bjorklund T., Tillman A.-M. LCA of building frame structures: environmental impact over the lifecycle of wooden and concrete frames, in: *Technical Environmental Planning Report 1997:2*, Chalmers University of Technology, 1997.
- [27] Guardigli L., Monari F., Bragadin M. Assessing Environmental Impact of Green Buildings through LCA Methods: A comparison between Reinforced Concrete and Wood Structures in the European Context. *Procedia Engineering* 21, pp. 1199-1206, 2011.
- [28] Asif M., Muneer T., Kelley R. Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. *Building and Environment* 42(3), pp. 1391-1394, 2007.
- [29] Lenzen M., Treloar G. Embodied energy in buildings: wood versus concrete reply to Borjesson and Gustavsson. *Energy Policy* 30, pp. 249-255, 2002.
- [30] Bolin C., Smith S. Life cycle assessment of borate-treated lumber with comparison to galvanized steel framing. *Journal of Cleaner Production* 19, pp. 630-639, 2011.
- [31] Nässén J., Hedenus F., Karlsson S., Holmberg, J. Concrete vs. wood in buildings – An energy system approach. *Building and Environment* 51, pp. 361-369, 2012.
- [32] Koch P. Wood versus non wood materials in U.S. residential construction: some energy-related global implications. *Forest Products Journal* 42(5), pp. 31–42, 1992.
- [33] Kunniger T., Richter K. Life cycle analysis of utility poles: a Swiss case study, in: *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Wood Preservation Symposium*, 6–7 February, Cannes-Mandelieu, France, 1995.
- [34] Buchanan A., Honey B. Energy and carbon dioxide implications of building construction, *Energy and Buildings* 20 (3), pp. 205–217, 1994.
- [35] Schlamadinger B., Marland G. The role of forest and bioenergy strategies in the global carbon cycle. *Biomass and Bioenergy* 10, pp. 275–300, 1996.
- [36] Vogtlander J. Life cycle assessment and carbon sequestration of MOSO bamboo products. Delft University of Technology, Netherlands, 2011.
- [37] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis. Summary for policymakers. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva, 2007.
- [38] IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. *Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva, 2006.
- [39] European Commission – Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - *General guide for Life Cycle Assessment - Detailed Guidance*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010.
- [40] Brandão M., Levasseur A. Assessing Temporary Carbon Storage in Life Cycle Assessment and Carbon Footprinting. *Outcomes of an expert workshop 7<sup>th</sup>-8<sup>th</sup> October 2010*, Ispra (Italy), 2010.
- [41] Pawelzik P., Carus M., Hotchkiss J., Narayan R., Selke S., Wellisch M., Weiss M., Wicke B., M.K. Patel M. Critical aspects in the life cycle assessment (LCA) of bio-based materials – Reviewing methodologies and deriving recommendations. *Resources, Conservation and Recycling* 73, pp. 211–228, 2013.

## Casas de madeira. Da tradição aos novos desafios

Jorge M. Branco

*ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães*  
[jbranco@civil.uminho.pt](mailto:jbranco@civil.uminho.pt)

### SUMÁRIO

De um modo geral, Portugal, aparte de muitos países europeus, ainda não se encontra totalmente sensibilizado para o uso da madeira como parte integral da construção de edifícios. Num mercado fortemente tradicional no uso de alvenaria e betão, essa tendência parece estar a mudar, gradualmente, dadas as vantagens inerentes ao uso da madeira. O desenvolvimento tecnológico da indústria da madeira propiciou o aparecimento e/ou aperfeiçoamento de sistemas construtivos, assim como o surgimento de novos produtos derivados de madeira. O incremento das potencialidades de utilização desta matéria-prima fez com que a industrialização das construções das casas de madeira despertasse e consigo novos processos de produção surgissem.

Pretende-se com este artigo fazer-se referência ao potencial da madeira para a conceção de habitações prefabricadas com características modulares apresentando alguns exemplos na qual a Universidade do Minho está envolvida.

### PALAVRAS-CHAVE: MADEIRA, PREFABRICAÇÃO, MODULAR, INOVAÇÃO

#### 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, o setor da construção tem procurado desenvolver e apresentar soluções construtivas para uma habitação de baixo custo utilizando tecnologias construtivas prefabricadas e de reduzido impacto ambiental não descurando dos aspetos funcionais. Neste âmbito, a madeira surge como o material que possibilita conjugar todos esses fatores.

Não é nenhuma novidade a aplicação da madeira na construção. Desde sempre que tem sido um material muito utilizado nas mais variadas aplicações abarcando diversos mercados e englobando desde os pequenos objetos decorativos até à construção de habitações e, nas décadas mais recentes, estruturas de grandes dimensões. Séculos de experiência no uso da madeira na construção permitiram reconhecer os métodos mais seguros de construção, as dificuldades nas ligações, assim como as suas limitações.

A grande evolução verificou-se nas técnicas de produção, no melhoramento relativamente à sua durabilidade e, essencialmente, nas potencialidades arquitetónicas que este material e seus derivados sugere. A madeira é hoje um material de potencialidades renovadas na área da construção.

## 1.1. O setor da construção

Consequência da crise financeira emergida em 2008 dá-se início, no ano de 2011, em Portugal, ao processo de ajustamento da economia portuguesa, caracterizado pela implementação de fortes medidas orçamentais, desencadeado na sequência do pedido de assistência financeira à União Europeia e ao Fundo Monetário Internacional (FMI). Neste cenário, a crise económica refletiu-se em praticamente todos os setores produtivos, porém com maior incidência sobre o setor da construção. O desemprego não pára de aumentar, a capacidade de adquirir bens e serviços vê-se diminuída e as estatísticas não enganam: O setor da construção está em queda.

É neste ponto que cresce a imaginação, a prosperidade e a oportunidade. Assim, tanto as empresas como os técnicos qualificados têm procurado novas estratégias através da criação de soluções inovadoras de baixo custo que permitam uma melhor rentabilização dos orçamentos familiares. O termo *low-cost*, outrora associado à construção de habitação social, ganha então adeptos em tempos de crise.

A engenharia e a arquitetura *low-cost* surgem como uma demanda pela descoberta de novas soluções procurando a utilização de materiais e sistemas construtivos de baixo custo que respondam com bom desempenho aos cada vez mais exigentes níveis de segurança estrutural, conforto higrométrico, acústico e visual. A nível nacional, tem surgido algum investimento numa lógica *low-cost*, do qual se pode destacar o projeto *Affordable Houses* da Universidade de Coimbra (Tabela 1).

Tabela 1 – Quadro resumo dos preços de venda (valores aproximados).

Construção	Custo/m <sup>2</sup>
Affordable Houses	549€
Habitação social <sup>1</sup>	501€
Habitação comum <sup>2</sup>	980€

Em Portugal ainda se mantém a tradição da construção convencional de betão armado e alvenaria de tijolo. A construção de casas de madeira em Portugal representa atualmente uma percentagem reduzida do mercado habitacional português com cerca de 5% do setor [1]. Desde sempre que às construções em madeira são associados vários mitos depreciativos e errados que dificultam a sua proliferação numa escala maior.

Outro *handicap* que se tem revelado no caso das casas de madeira é o do financiamento. Para além das dificuldades de acesso ao crédito bancário associadas à conjuntura atual, as casas de madeira, em particular aquelas de características modulares, são ainda analisadas sob um enquadramento jurídico geral, que não tem conta as suas especificidades.

Recentemente, a construção de habitações em madeira tem tido um acentuado desenvolvimento na Europa, não sendo Portugal exceção desta tendência. Na verdade, têm surgido medidas que incentivam formas alternativas de construção no qual favorecem a construção em madeira [2]. As razões são várias, das quais se destacam: a sustentabilidade, o elevado nível de industrialização e prefabricação, a facilidade e velocidade de montagem, entre outros.

A ecologia, ou por outras palavras, a proteção do meio ambiente, tem sido responsável pelo desenvolvimento de diversos exemplos de construções em madeira. Contudo, a

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Estatística (INE). Período de referência: Março de 2011

<sup>2</sup> Portaria nº143 de 6 de abril de 2011

maioria deles têm carácter temporário ou predestinam-se a aplicações singulares como são feiras, exposições ou concursos internacionais.

## 1.2. A construção em madeira

Se existe hoje um renascimento da utilização da madeira para a construção de casas isso reflete, sobretudo, a enorme variedade de soluções construtivas à base de madeira. A sua preferência, no que respeita a matéria-prima estrutural, deve-se sobretudo às suas propriedades físicas e mecânicas que proporcionam, num produto final, conforto térmico e grande aptidão estética, associadas a um baixo consumo de energia (para sua transformação). De notar que neste caminho para uma construção sustentável, a madeira surge como o único material renovável na natureza.

A madeira é um material estrutural esteticamente apazível que permite desenvolver soluções criativas, inovadoras, robustas e de alta qualidade em resposta a numerosos desafios arquitetónicos e estruturais.

No repto que se coloca na busca de novos sistemas estruturais, formas arquitetónicas, acabamentos, etc, têm surgido no mercado inúmeros produtos derivados de madeira que pretendem colmatar as limitações naturais da madeira, bem como adaptar este material a usos mais específicos, mais exigentes.

Os derivados de madeira mais relevantes e com maior aplicação são os aglomerados de partículas orientadas (OSB); os contraplacados; o contraplacado lamelado; os aglomerados de fibras de média densidade (MDF); a madeira lamelada colada; a lamelada colada cruzada; a madeira micro-laminada; as vigas de perfil I; os duolam e ainda a madeira KVH que consiste em madeira maciça constituída por elementos retos de secção retangular obtidos pela colagem topo a topo (através de *finger-joints*) de peças de madeira maciça. Estes materiais visam essencialmente a obtenção de produtos de alta resistência, baixa variação comportamental e alta tipificação, procurando uma standardização e normalização que permita a continuidade da crescente garantia de qualidade inerente aos produtos de madeira e derivados [3].

Como exemplo de grandes estruturas de madeira que usaram alguns destes derivados da madeira pode-se indicar a primeira grande estrutura de madeira lamelada colada construída em Portugal – Cobertura do Pavilhão Atlântico – e a emblemática construção em madeira micro-laminada na praça *La Encarnación*, em Sevilha – Metropol Parasol – reconhecida pela imprensa internacional como a maior estrutura em madeira do mundo (ver Figura 1).

No entanto, a madeira não é exclusiva para a construção de grandes estruturas semelhantes às identificadas atrás. Os edifícios habitacionais em madeira podem ser uma excelente escolha para quem compra casa pela primeira vez, para quem deseja um domicílio para uma família numerosa, para templos, igrejas e mesmo empreendimentos hoteleiros



(a)



(b)

Figura 1 – Estruturas em madeira; (a) Cobertura Pavilhão Atlântico<sup>3</sup>; (b) Metropol Parasol<sup>4</sup>

Relativamente às casas de madeira, quatro processos diferentes de construção usando estruturas de madeira têm vindo a ser desenvolvidos ao longo do tempo (Tabela 2): casa de troncos (*Log-house*), casas com estrutura pesada de madeira (*Heavy Timber*), casas com estrutura leve de madeira (*Light Frame*) e casas em estrutura prefabricada modular, cujo este último será âmbito de estudo mais aprofundado neste artigo.

Tabela 2 – Sistemas de construção em madeira.

Tipo de estrutura	Sistemas
Casa de troncos	Log-house
Estrutura pesada de madeira	Porticado ( <i>Post and Beam</i> ) Entramado ( <i>Timber Frame</i> )
Estrutura leve de madeira	Sistema em Balão ( <i>Baloon System</i> ) Sistema Plataforma ( <i>Plataform System</i> )
Estrutura prefabricada modular	Módulos de pequenas dimensões Módulos de grandes dimensões Módulos tridimensionais

## 2. PRÉ-FABRICAÇÃO E CONSTRUÇÃO MODULAR

A pré-fabricação surge como consequência de todas as características que o modo de trabalhar a madeira pode apresentar. É concebida de forma totalmente integrada em que as operações a realizar em fábrica estão perfeitamente definidas permitindo que partes inteiras da construção sejam produzidas em fábrica, fora do local de implementação, seguindo modernos conceitos de racionalização e elevados níveis de controlo de qualidade.

É nesta medida que a pré-fabricação ganha terreno face à construção convencional, que necessita de estaleiros de obra prolongados no tempo com inúmeras operações *in-situ* (ver Figura 2).

<sup>3</sup><http://architectureoflife.net/Blog/1256/Ahsap-Yapilar-Unuttugumuz-Mimari-Kulturumuz.aspx>

<sup>4</sup> <http://www.setasdesevilla.com/>

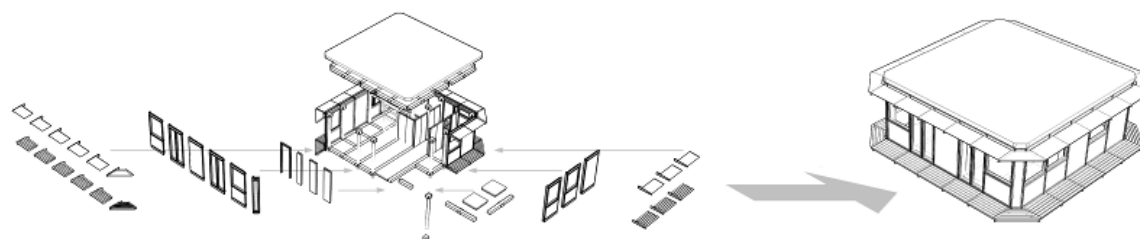


Figura 2 – Sistema de pré-fabricação da empresa LUKASLANG<sup>5</sup>.

As casas modulares são normalmente construções que se apoiam em materiais e elementos pré-fabricados com capacidade modular, com toda a versatilidade que isso pode representar. Assim a coordenação dimensional modular é uma metodologia, que visa criar uma dimensão padrão, que racionalize a conceção e a construção de edifícios, que permite elevar o grau de industrialização da construção, mantendo no entanto a liberdade de conceção arquitetónica dentro de valores aceitáveis [4].

Esta metodologia permite que todo o processo de construção seja estandardizado, através de uma racionalização das dimensões dos componentes, otimizando o processo de construção desde a fase de conceção – projeto – até à montagem final – construção. Deste modo estamos perante uma otimização do trabalho que conseqüentemente resulta numa diminuição de custos por detrimento da personalização habitacional que exige um estudo detalhado do local a construir, da vontade do cliente e dos meios associados (Figura 3).

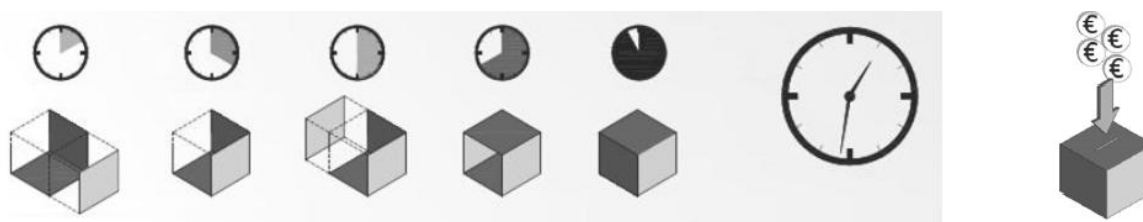


Figura 3 – Vantagens da construção modular.

São inúmeros os sistemas construtivos que têm por base os fundamentos da construção modular. Estes podem ser classificados como sistemas modulares fechados em que o módulo é semelhante a uma célula onde todos os componentes constituintes encontram-se ligados, sem qualquer possibilidade de mudança [5] o que acarreta um elevado grau de padronização e pré-fabricação. Os módulos podem ser combinados, empilhados, ligados entre si ou suspensos por uma estrutura que funciona como esqueleto [6].

Outro método de construção modular são os sistemas abertos no qual se incluem o sistema de vigas e pilares, sendo que estes suportam todas as cargas permanecendo os restantes elementos (paredes exteriores e interiores) com função não estrutural. A dissociação entre a estrutura portante e as paredes possibilita criar espaços abertos de maior dimensão e alarga os graus de liberdade consentindo criar configurações distintas.

No sistema de painéis, também ele classificado de sistema aberto, estes são responsáveis pelo suporte de todas as cargas decorrentes do edifício. Os painéis são geralmente concebidos segundo o Sistema Plataforma [7], formado por um conjunto de perfis de madeira maciça igualmente distanciados de, normalmente, 600mm, enrijecido por placas estruturais (ex. OSB, partículas de madeira cimento ou contraplacado), que dão

<sup>5</sup> [www.lukaslang.com](http://www.lukaslang.com)

estabilidade (Figura 4a). Recentemente a indústria da madeira tem usado um novo derivado de madeira, chamado CLT (Cross Laminated Timber), conhecido em Portugal por madeira lamelada colada cruzada. Geralmente aplicado em paredes externas e internas, pavimentos e coberturas, este sistema, desprovido de vigas e pilares, é baseado em painéis lamelados colados com grande estabilidade e capacidade estrutural (Figura 4b). Existem ainda os sistemas mistos que resultam da combinação dos diferentes sistemas já descritos.



Figura 4 – Sistema modular; (a) Sistema Plataforma; (b) Sistema de painéis lamelados.

No que respeita ao processo de construção propriamente dito, este é executado em duas fases: na primeira os elementos são produzidos em fábrica, mediante os sistemas previamente definidos, na segunda fase os elementos são transportados para o local onde serão montados (Figura 5). A produção em série permite então que haja uma diminuição dos custos possibilitando também que todo o processo de controlo de qualidade seja mais exigente, permitindo por sua vez que o nível qualitativo de cada peça seja maior.



Figura 5 – Componentes de um sistema modular; (a) Transporte; (b) Aplicação em obra.

### 3. O POTENCIAL DA CONSTRUÇÃO EM ALTURA

Para além da legislação e outros instrumentos políticos, o potencial dos edifícios de madeira em altura advém do próprio sector de habitação, governado por mudanças



sociológicas, como a redução da dimensão dos agregados familiares, e pela recente crise financeira mundial.

As perspectivas de crescimento da construção de edifícios de madeira em altura são significativas prevendo-se que na próxima década atinjam uma quota do mercado imobiliário de 30% na Suécia, 10% na Inglaterra e Alemanha, e de 2,5% em França. Contudo, o sucesso da construção em madeira depende de vários pré-requisitos: ampla divulgação e feedback das experiências de vários projetos com estrutura de madeira, contribuindo para a aprendizagem; racionalização das operações in-situ; desenvolvimento de procedimentos industriais e normas relativas às estruturas de madeira; e, maior envolvimento das construtoras nas estruturas de madeira.

Em Inglaterra, Itália e Suíça, por exemplo, edifícios de 6 pisos ou mais com estrutura de madeira são agora aceites. Na América do Norte edifícios de madeira com 4 pisos são comuns ocasionalmente com 5 e 6 pisos quando permitidos pelas autoridades locais. Com uma correta seleção dos métodos construtivos, edifícios em madeira com 20 ou mais pisos são agora tecnicamente executáveis. Edifícios de madeira com 10 pisos tornar-se-ão vulgares na próxima década. Investigadores em várias instituições da Europa, América do Norte e Ásia estão a proceder a largos estudos, utilizando provetes à escala real, desenvolvendo conceitos de projeto e cálculo necessários para que este objetivo se concretize.

São vários os exemplos de edifícios de madeira em altura que têm sido construídos recentemente, como são exemplo o Stadthaus em Londres (11 pisos), o projeto Mühlweg em Viena (250 apartamentos em edifícios de 4 a 5 pisos), Holzbausen (6 pisos) e Dock Tower (120 metros) na Suíça, entre outros, que servem como casos de estudo das potencialidades deste género de edifícios (Figura 6).



(a)



(b)

Figura 6 – Exemplos de edifícios altos em madeira; (a) Stadthaus, Londres, 11 pisos; (b) Bad Aibling, Alemanha, 8 pisos.

#### 4. EXEMPLOS INOVADORES

O mercado nacional das casas de madeira está em forte crescimento e a indústria está ativa. São vários os projetos de desenvolvimento tecnológico e industrial em desenvolvimento que permitiram o aumento de soluções, alternativas a quem desejar viver numa casa de

madeira. Entre os vários exemplos, destacam-se aqui aqueles em que o Departamento de Engenharia Civil está envolvido.

#### 4.1. A ttt torre turística transportável

A ttt torre turística transportável, mais que um projeto isolado, é um conceito abrangente que assenta num modelo adaptável, evolutivo, polivalente e industrial, que se pretendia materializado através de uma solução construtiva marcadamente diferenciadora e sustentável, recorrendo à madeira enquanto material predominante, também estruturalmente. Este conceito turístico e habitacional teve o seu lançamento mundial na EXPO Xangai 2010, na restrita área reservada às melhores práticas urbanas internacionais (UBPA), e cujo mote – “Better City, Better Life” – coincidia com os princípios adotados no projeto.

Durante seis meses de Exposição Universal, 01 de Maio 2010 a 31 Outubro 2010, o projeto obteve o reconhecimento internacional por parte de visitantes, organização, média e especialistas ligados à construção, naquele que foi o maior evento organizado de sempre, com 72 milhões de visitantes.



Figura 7 – A torre ttt na Expo 2010.

Procura-se com este produto uma solução multifuncional que represente um novo conceito de habitabilidade e evolutividade que, através de sistemas solares ativos e passivos, combine tecnicamente iluminação natural e potencial energético. A sua natureza modular e os materiais nela utilizados – madeira, vidro e metal – asseguram uma política de reutilização e uma redução assinalável do seu impacto construtivo, fator decisivo na aceitação comercial do produto.

## 4.2. Alvenaria estrutural em madeira

Em finais de 2010 a Alcomate, Carpintaria e materiais de construção LDA, iniciou um trabalho em conjunto com o Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, que tem por objetivo viabilizar um sistema construtivo que ajusta o conceito de alvenaria estrutural à construção em madeira. A principal vantagem desta conceção prende-se essencialmente à ideia de autoconstrução, e à conseqüente abolição dos custos de mão-de-obra. A conjugação de pequenos elementos de madeira repetidos, fixados entre si através de simples parafusos, possibilita uma perfeita adequação ao conceito contemporâneo da bricolage (Figura 8).

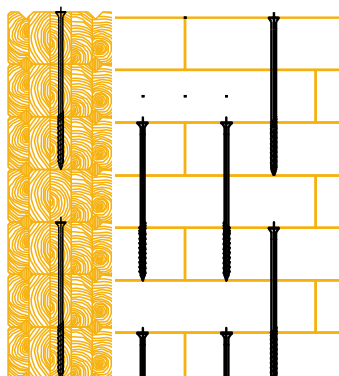


Figura 8 – Corte longitudinal e transversal de um pano de parede de alvenaria estrutural em madeira.

Neste sentido, o tema da habitação revela-se o mais adequado à adoção desta técnica, tanto pela sua escala, como pela sua necessidade de baixo custo, construção rápida e eficiente. Existe já uma conceção preliminar que necessita de ser estudada, avaliada e otimizada. Apesar do longo caminho ainda a percorrer, os resultados experimentais obtidos [9] demonstram as potencialidades da técnica e asseguram a viabilidade da inovação tecnológica desenvolvida.

O objetivo futuro do estudo é conseguir otimizar a técnica de modo a que esta responda aos objetivos práticos da construção, como sendo a facilidade de execução e a eficiência energética, como também responda aos ideais indescritíveis que permitem a uma habitação proporcionar experiências de vida extraordinárias, que melhoram a nossa vida física, intelectual e emocional.

## 5. WOODENQUARK

O WoodenQuark, ou somente Quark, propõe a construção de casas por módulos em tempo reduzido e a preços *low-cost*. Mais do que um projeto de investigação, materializa um conceito assente num modelo evolutivo e adaptável que recorre à madeira enquanto material estrutural, concretizando uma solução construtiva sustentável e de baixo custo. Agregada a uma forte componente estética esta casa, modular, pretende-se que seja desenvolvida através da reinterpretção dos modos de habitar e da evolução constante das necessidades humanas.

Esta característica permite que o Quark se adeque a diferentes modos de vida, assim como a diferentes agregados familiares e à sua mutação ao longo do tempo (ver Figura 9). A flexibilidade da solução a desenvolver contribui deste modo para a sustentabilidade na

medida em que reduz o número de intervenções de adaptação, prolongando a vida útil do edifício.

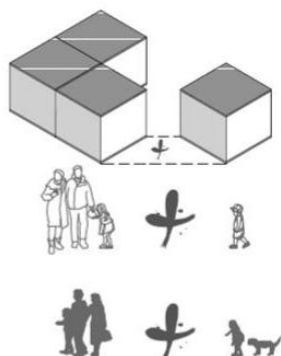


Figura 9 – Flexibilidade do sistema modular.

A vontade de flexibilizar o módulo habitacional levou ao estudo da possibilidade de tornar estes módulos multifuncionais, e como tal, tornou-se um desafio repensar a utilização de cada módulo como único, levando ao limite a interação entre espaços. A casa pode ser montada por cada cliente e personalizável até ao último detalhe, garantindo exclusividade. Assim será possível agregar módulos pré-definidos, escolher a função de cada espaço e todos os materiais que compõem a habitação.

Ao longo do tempo o Quark pode alterar-se mantendo sempre uma imagem renovada, quer no interior, quer no exterior; as paredes interiores podem facilmente ganhar uma nova vida (basta apenas mudar os painéis que as compõem).

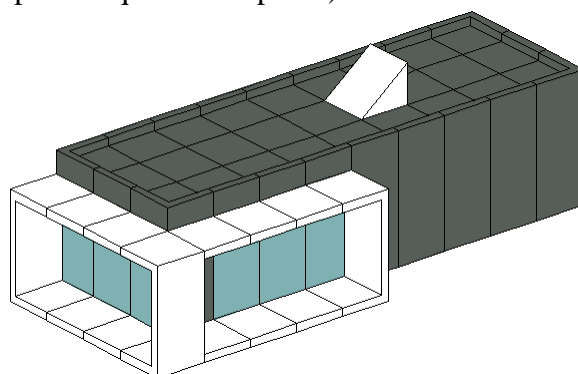


Figura 10 – WoodenQuark - Tipologia T1.

Cada Quark será único e mediante as suas dimensões poderá ser transportado por inteiro ou por peças (prevendo assim a possibilidade de exportação) garantindo a mobilidade. O processo de montagem é simplificado pela modularidade e pela predefinição estrutural, conseguindo assim uma maior rapidez.

O Quark pode ser ajustado de modo a conseguir responder às exigências do lugar, quer pela orientação, diferenças de cotas ou mesmo a necessidade de ‘encaixe’ no próprio terreno. Cada projeto terá a sua autenticidade, tornando visível a preocupação com a envolvente e afirmando-se como elemento que assegura as características espaciais. Em suma, associa-se a vontade de criar uma habitação de baixo custo a processos construtivos simplificados construindo uma casa com qualidade, conforto e identidade.

## 6. CONCLUSÕES

Para que a construção em madeira não seja apenas uma opção de nichos, é necessário que os principais intervenientes na construção: arquitetos, projetistas e engenheiros de obra comecem a olhar para a madeira como uma real alternativa aquando da decisão do material a usar na estrutura. Para já, têm sido as questões ambientais as principais responsáveis pelo reacender do interesse no uso da madeira na construção. As casas em madeira são um exemplo claro desta evolução.

Os conceitos de prefabricação e modularidade, aliado a um preço competitivo e convidativo, têm atraído a população a adotar este tipo de construção. Deste modo, à medida que as exigências dos clientes aumentam e a competitividade entre as empresas do setor intensifica, amplifica-se o conhecimento nesta área em franca expansão a nível nacional, contribuindo para a modernização do mercado da construção de casas de madeira.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] Salta, C. Casas em madeira: um conceito de habitação 100 por cento natural. *Construção magazine*, 4º trimestre 2001, Publindustrias, Porto.
- [2] Cruz, H., Morgado, L., Pedro, J. B., Pontífice, P., Projeto e construção de casas de madeira em Portugal. *Jornadas LNEC*. Lisboa, 2012.
- [3] Branco J.M. A madeira como material de estruturas. *Arte & Construção. Revista profissional da construção e dos novos materiais*. Edição Especial Madeiras. pp. 78-81, Maio 2005.
- [4] Castelo J.L.D.C. Desenvolvimento de modelo conceptual de sistema construtivo industrializado leve destinado à realização de edifícios metálicos. *Tese de Mestrado*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.
- [5] Staib, G., Dorrhofer, A., Rosenthal, M., Edition Detail Components and systems: Modular Construction – Design, Structure, New Technologies. 1<sup>st</sup> Edition, Birkhauser Verlag, 2008.
- [6] Lawson M., Building design using modules. The Steel Construction Institute Publication, Vol. 10 n° 5, 2007.
- [7] TRADA TECHNOLOGY, Timber Frame Construction, 4<sup>th</sup> Edition, Revised by Huel Twist and Robin Lancashire, *Trada Technology*, 2008.
- [8] Branco J.M., Cruz P.J.S., Construir em Madeira. *Arte & Construção. Revista profissional da construção e dos novos materiais*. Edição Especial Madeiras., pp. 18-24, Novembro 2004.

- [9] Silva, C.V., Branco, J.M., Rodrigues, V. (2011), Alvenaria estrutural com elementos de madeira. *CIMAD 11 – 1º Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção*, 7-9/06/2011, Coimbra, Portugal. URL: <http://hdl.handle.net/1822/14004>

## **Phantasies with massive wood modules**

Hanspeter Kuster

*Steko® Holz-Bausysteme AG, Switzerland*

Hanspeter.Kuster@ffa.ch

### **ABSTRACT**

STEKO is a kit system, which opens up completely new dimensions for the principal, the planners and entrepreneurs. It has never been as easy to build solid, healthy and ecologically valuable houses.

### **KEYWORDS: MASSIVE CONSTRUCTION, MODULAR**

#### **1. STEKO - A SUSTAINED AND LOGICAL MODULAR BUILDING SYSTEM**

More and more people would like to build and live differently. They would like to have good, solid houses with high living quality and reasonable initial and maintenance costs. However, they would also like to build in a way that neither their own living quality nor the possibilities of subsequent generations are affected – that is they would like to build sparingly and sustainably. This new kind of construction is future-proof. It combines renewable resources with the most modern technologies and again reconciles economy and ecology. STEKO is a logical modular building system based on latest technology allowing sustainable construction, which thereby meets the highest requirements regarding stability, earthquake safety, durability, comfort and design flexibility. STEKO is a kit system, which opens up completely new dimensions for the principal, the planners and entrepreneurs. It has never been as easy to build solid, healthy and ecologically valuable houses. STEKO reduces the planning effort and increases the creative scope.

The CAD-supported planning works with a simple basic framework, which allows huge design flexibilities due to fine increments – 16 cm horizontally and 8 cm vertically. Due to the new pushfit fitting the modules create a statically detectible unit and a massive, unmovable combination in a wall. For the further design of the interior and the exterior the logical modular building system provides the planner and resident with every possible liberty. In the interior the walls may be kept visible or they may be clad using the traditional interior materials such as plaster or wood material panels. The exterior facade may be created using back-ventilated materials or compact plastering systems. Planning and building with STEKO saves time and money. Mainly because fewer processes reduce the interfaces and thus simplify the planning and execution.

The logical modular building system STEKO is suitable for residential buildings as well as communal, agricultural, industrial or business buildings. Furthermore, the wood modules could be used for temporary buildings, trade fair and stage buildings, renovations, extension buildings, room dividers or as infill for skeleton structures.

## 2. STEKO SYSTEM PARTS

The Steko wood construction system is based on some few basic elements, which can be pushfitted together easily and quickly. The core piece is the handy basic module, which weighs approx. 6.5 kg and measures 640 mm in length and 320 or 240 mm in height. The width is 160 mm for all component parts. In addition to the 4-part module, there are also 3-, 2- and 1-part modules available. As lower finish a threshold and as upper finish an integrator, both of 8 cm in height are inserted.

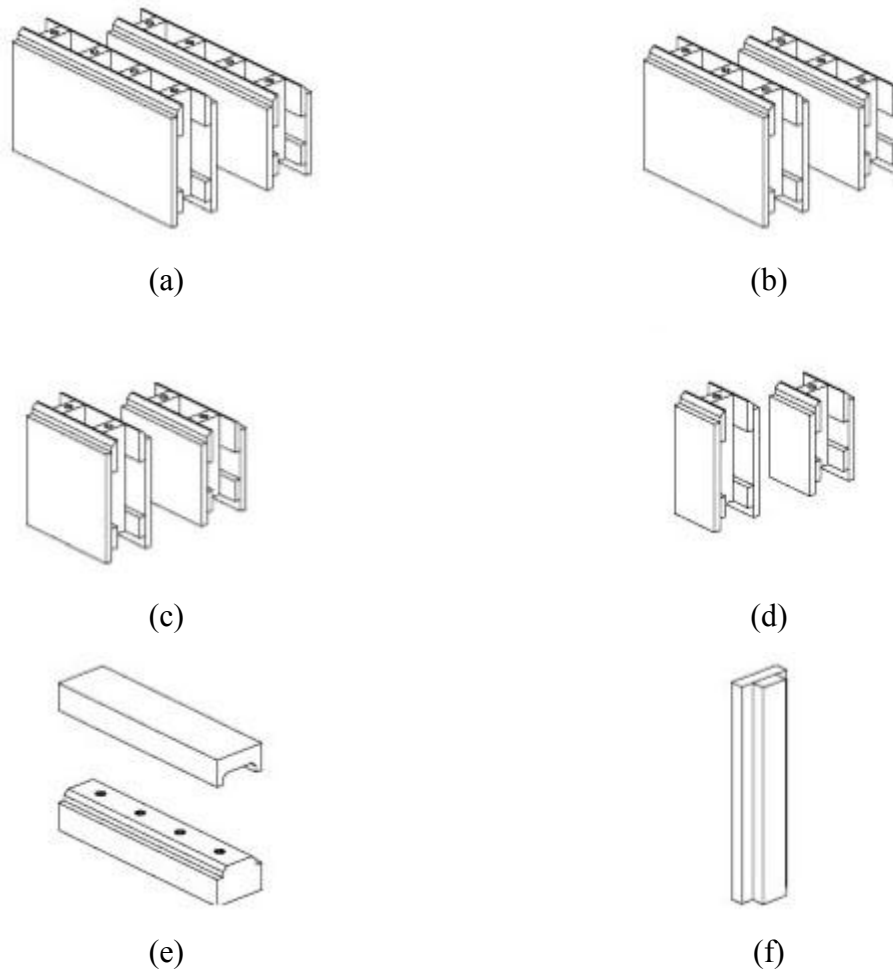


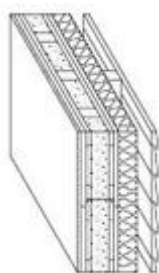
Figure 1 – Steko basic modul; (a) 4-part, length 640 mm, height 320 mm, 240 mm; (b) 3-part, length 480 mm, height 320 mm, 240 mm; (c) 2-part, length 320 mm, height 320 mm, 240 mm; (d) 1-part, length 160 mm, height 320 mm, 240 mm; (e) Steko threshold and Steko integrator - variable length and height; (f) Steko reveal finish - window and door finish.

With the reveal panels the system is complete. With these few parts all bearing and non-bearing interior and exterior walls of a house may be built. The horizontal grid is 16 cm and the vertical grid is 8 cm. Additionally, interim stages are possible. This allows for the efficient planning with practically unlimited design flexibility.



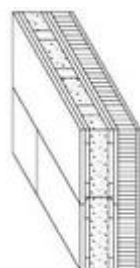
### 3. STEKO WALL CONSTRUCTION

The Steko wood construction system is suitable for all areas of applications of building construction, in particular where the largest possible energy saving and the best possible well-being are required. Steko is used for the interior as well as the exterior and together with the different insulation materials can meet different requirements. The walls may be left visible or they may be used as ideal base layer for the traditional interior building materials such as plaster or wood material panels. The exterior façade may be designed using back-ventilated materials or compact plastering systems.



- Plasterboard panel 15mm
- Steko
- Heat insulation in Steko
- Air tightness layer
- Heat insulation layer
- Back-ventilation 30 mm
- Exterior plaster

Figure 2 – Steko exterior façade using back-ventilated materials.



- Steko
- Heat insulation in Steko
- Heat insulation layer
- Exterior plaster

Figure 3 – Steko exterior façade using compact plastering systems.

### 4. STEKO SURFACES

The following Steko modules are available:

- Surface quality B/B both sides visible;
- Surface quality B/C one side visible, one side not visible;
- Surface quality C/C both sides not visible.

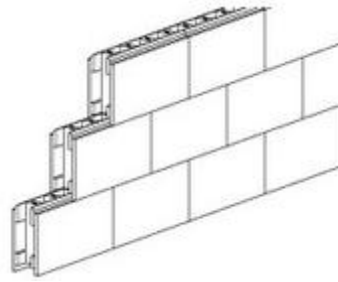


Figure 4 – Visible surface with vertical covering layer, which is created by using an end-matched solid wood casing. Design of module joints is end-matched. Polished surface.

Type of wood: spruce / fir.

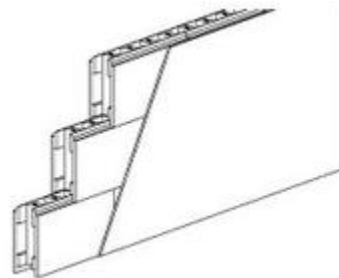


Figure 5 - The wood modules are usually clad. There are no special requirements for the covering layers. Type of wood: spruce / fir.

## 5. STEKO MOUNTING

Steko by Steko – the wall is pushfitted quickly and easily. The Steko threshold works as basis, on which the foundation or the basement ceiling is mounted. The Steko modules are fitted on top of one another without glue or other copula. Within two or three days a solid house is built. The coupling is via beech dowels, which are fitted in the factory. Additionally, the modules are interlocked in the corners due to the shifted position of the modules. The top finish of the wall is the Steko integrator. Openings and vertical finishes are made using reveal panels.

Within the modules tube-like installations, such as electrical pipes, are integrated. They can be inserted easily during or after mounting.

In addition, the cavity is used to include filling materials such as insulations or sound-absorbing sand. The exterior walls are usually filled with cellulose fibre insulation materials or perlite heat insulation materials.

## 6. STRUCTURAL BEHAVIOUR

Steko is highly loadable. The outstanding loading capacity is the result of the intensive and systematically organized development work in the test laboratory (Eidg. Technische Hochschule, Swiss technical university) and in the building practice. The results of the investigations are included in the calculation guidelines "Principles of the calculation and assessment of the Steko construction".

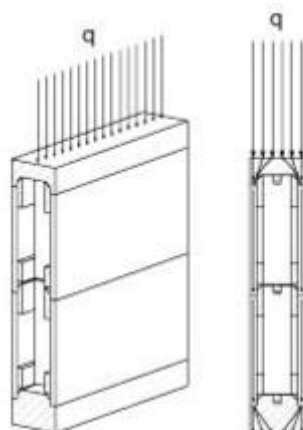


Figure 6 -  $q \leq 128 \text{ kN/m}$  (beech threshold).

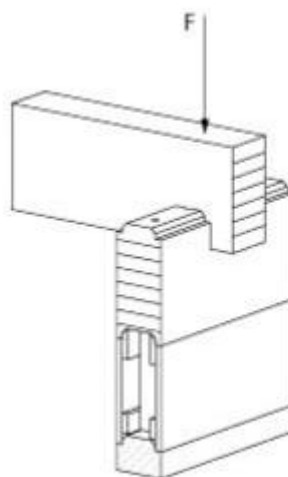


Figure 7 -  $F \leq 89.6 \text{ kN/m}$  (beech module).

## 7. HEAT INSULATION

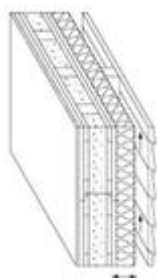
Already in the structural work the STEKO walls prove their outstanding insulating qualities. The insulation of the exterior walls again improves the heath protection and predestestines the STEKO system for the construction of minimum and low-energy and passive houses. The entire wall construction is diffusible. The regulation of temperature and humidity is via the pores and cells of the solid wood – just like with the human skin.

## 8. SOUND INSULATION

Steko offers good and simple methods to meet the sound insulation requirements. Steko walls that are clad with plaster achieve a sound insulation value of more than  $R_w = 40 \text{ dB}$ . The cavities of the Steko modules may also be filled with coarse sand. With this simple method a good sound insulation value of  $R_w = 48 \text{ dB}$  is achieved at low expenses. With

different cladding materials or two-layered constructions the sound insulation can be increased again, if the highest requirements of noise sensitivity must be met.

## 9. WALL CONSTRUCTION (EXAMPLE)



- Plasterboard panel 15 mm
- Steko
- Heat insulation in Steko (cellulose fibres)
- Air tightness layer
- Heat insulation layer (d, mineral fibre panel 60 kg/m<sup>3</sup>)
- Back-ventilation 30 mm
- Exterior plaster

Figure 8 – Wall example.

Table 1 – Design example.

Insulation thickness d (mm)	u-value (W/m <sup>2</sup> K)	wall thickness (mm)
60	0.24	295
80	0.21	315
100	0.19	335
120	0.17	355
140	0.15	375
160	0.14	395

## Modern architecture made with CLT

Julia Ahvenainen

*Innovation and Strategy, Stora Enso Building & Living, Campo de San Pedro, Spain*

[Julia.ahvenainen@storaenso.com](mailto:Julia.ahvenainen@storaenso.com)

### ABSTRACT

Cross Laminated Timber (CLT) has won a place in architects' hearts all over the world. Prestigious CLT projects are shown in architectural magazines and architects as well as manufacturers compete in designing & building the tallest timber building ever done before. Even so, there is still a need for more information among architects and engineers when it comes to CLT design process and practical issues of implementation.

Starting with the history of "massive" wood construction and comparing traditional log house construction with CLT, it will be made clear that CLT is an answer to available raw material processed with highest modern technologies in supply side and to fine contemporary architecture which "ordinary people" can afford on demand side. It is not surprising therefore, that in just one decade this new building material has gained so much popularity among ordinary house builders and architects.

From simple precut CLT elements up to "turn key" factory made modules or pods, this material allows different levels of prefabrication depending on the initial investment and size of business. But most important of all is the freedom that CLT gives for architects to design houses for 21<sup>st</sup> century with all modern ingredients including the best comfort and fulfilling the new energy efficiency requirements etc. But even with all the design freedom, there are also some limitations when designing with CLT which should be kept in mind.

**KEYWORDS: CLT (CROSS LAMINATED TIMBER), PROPERTIES, DESIGN**

### 1. INTRODUCTION TO CLT

This paper will give the reader a good understanding of the characteristics of cross laminated timber and its' use & design in residential buildings. It also explains in practical terms the process starting from the factory and ending to the building site. This paper can be taken as a practical "guide" or introduction when "building a house with CLT".

Building with CLT is now very popular in many parts of Europe, even in challenging multistory projects. These new reference projects get a lot of attention from architects all around the world. There is a fierce competition going on around the building of a highest building made of CLT. It should be added though, that the real "bulk" volume of CLT is still used in one and two family houses in a pretty limited geographical area (Austria, South Germany and Switzerland). This situation might change in a very near future.

## 2. HISTORY OF “MASSIVE” TIMBER CONSTRUCTION

### 2.1. Massive timber construction from log house architecture to CLT structures

The timber construction can be divided roughly into two main categories: Lightweight and massive construction. In this chapter we will take a closer look at the massive timber construction. The massive timber construction can be described as a structural system which consists of solid timber “bars” (block house as shown in figure 1, (a)) or solid timber “plates” (CLT structure or similar as shown in figure 1, (b)) and an additional insulation layer on outer side of the structure.

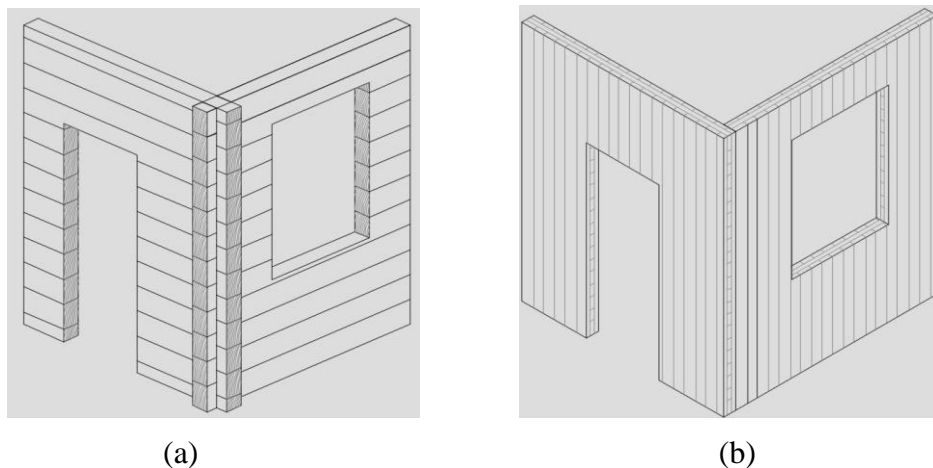


Figure 1 - Massive timber construction systems; (a) Block house; (b) CLT structure.

The traditional log construction has a long history especially in the Northern timber church architecture and also in other parts of the world. There are some beautiful examples of well protected old churches with log construction that are worth of mentioning. One example is the world biggest timber church, Kerimäki church, named after its' location and built in 1847 (figure 2 (a)). Another example is the Petäjävesi Old Church, in figure 2 (b), which is also a UNESCO World Heritage Center. This church was designed and built in 1763-64.



Figure 2 – Traditional Nordic timber church architecture; (a) Kerimäki church; (b) Pitäjämäki Old Church (also UNESCO World Heritage Center).

This traditional log construction has its' roots in places where a lot of wood was easily available, such as Scandinavia, Canada or Alpine region. In the last 20-30 years the log house construction has been expanding all over the world, even in the Mediterranean area. At the same time the log house “processing technology” has changed from handmade and labor intensive log houses to highly modern and prefabricated solutions. For example, world’s leading log house manufacturer, Honka, has entirely automated and computer-assisted their manufacturing process of round and laminated logs.

## 2.2. Main differences between log house and CLT construction

Whereas the log construction consists of bar type structural components which transfer the vertical loads (horizontal loads are transferred via wall joints and vertical rod elements), the CLT construction consists of large multi-layer elements through which both vertical and horizontal loads are transmitted.

The advantage of the CLT construction from the raw material optimization point of view is, that also small lower quality sideboards can be used in its' production whereas the log construction requires logs or lamellas of better quality and of bigger dimension. This is also illustrated in the figure 3. The raw material optimization is probably also one the main reasons why so many new manufacturers have invested in the CLT technology in the last couple of years, also in North America.

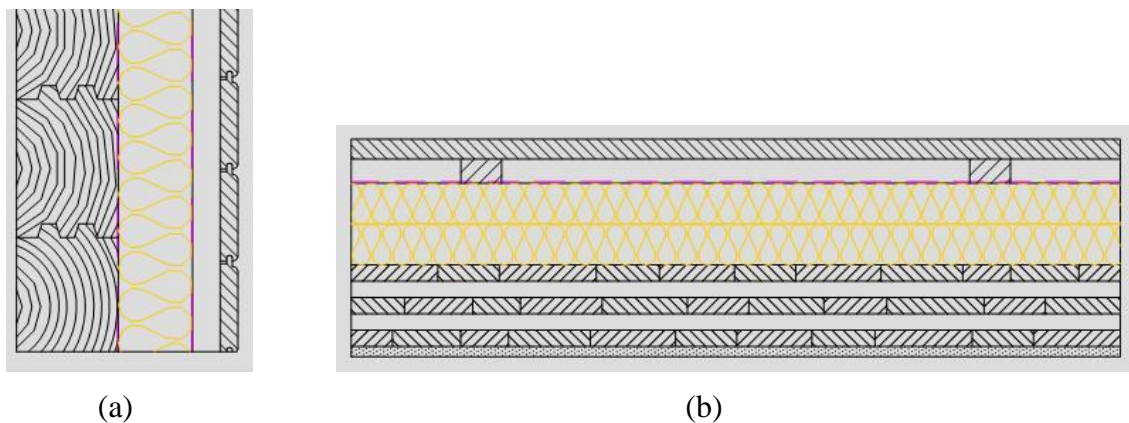


Figure 3 - Massive timber wall structures; (a) log house wall; (b) CLT wall.

The biggest differences in the other end of the process, at the building site, are linked to the product dimensions and level of prefabrication. In case of a modern log house production, the individual log components are prefabricated and installed one by one on-site, whereas the whole CLT wall and floor elements are cut to size at the factory including the window and door cuttings. The installation requires a crane, but it takes only couple of days and 4 persons to erect a 120 m<sup>2</sup> one family house. Following figure 4 shows an example of this.



Figure 4 – Erection of one family CLT house in Austria.

### 3. MAIN CHARACTERISTICS OF CLT IN HOUSING

#### 3.1. Excellent strength/weight ratio

Architects all over the world seem to adopt easily CLT for house design. Certainly there are many reasons for the quick acceptance of a relatively new construction method. One of the main reasons is its' excellent strength and weight ratio which gives the architect a lot of freedom to design. Special design which was normally “reserved” for high end concrete houses, such as use of long cantilevers, is now much easier and less costly with CLT. It is possible to create large open spaces (figure 4) without any pillars in the middle of the room. This enables modern and spacey architecture also with a “reasonable” budget.



Figure 4 – Large open spaces with CLT design.

Let us take a simple example of the “structural capacity” of CLT. We could design a house with a 6 m long and 7.5 m wide (45 m<sup>2</sup>) pillar free open area. For this we would need an intermediate floor of 20 cm thick CLT panel. With 24 cm thick CLT panel we could obtain even larger open spaces (7 m long and 9 m wide, for example).



Another important issue related to the light weight of CLT is the cost saving in foundation structure. As the foundation needs to be calculated based on the weight that is going to be built on top of it, there is quite a big difference between a timber structure (CLT) and a concrete structure. This becomes even a bigger issue in multi-floor buildings.

### 3.2. Large element sizes, precision and prefabrication

Most of the CLT manufacturers produce elements which are approx. 3 m wide and at least 16 m long. This means that it is easy to purchase large size elements from the factories. The limiting factor normally comes from the transportation, as the normal trailer can only take elements of maximum 13 m length. Element size is illustrated in figure 5a.

After the standard CLT panels are manufactured, they normally go straight to the CNC processing, where they are cut to right sizes (according to architectural plans) and where also all special cuts, drillings and other processing is done (figure 5b). This process step saves a lot of time at the building site and also improves significantly the building quality.

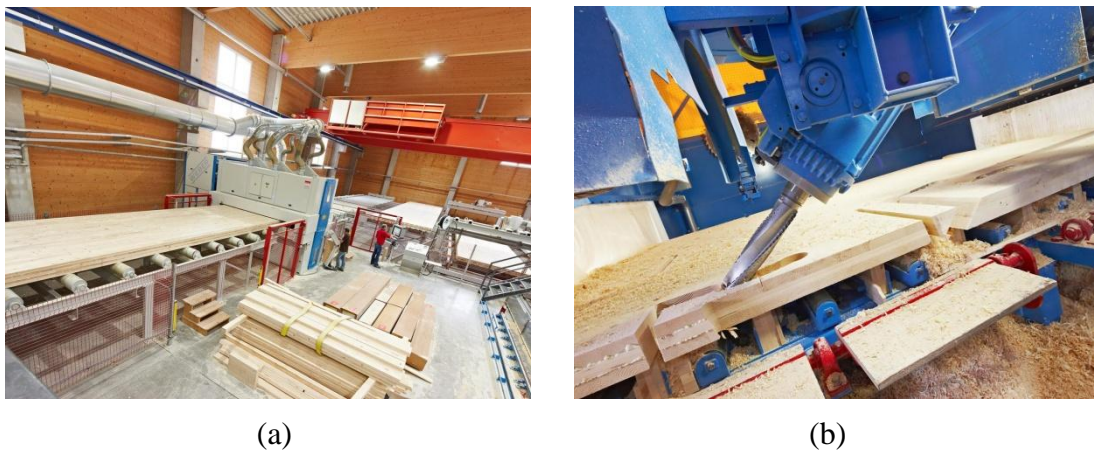


Figure 5 – Manufacturing of CLT; (a) Sanding of CLT surfaces; (b) CNC processing.

In comparison to traditional building methods, the building time with CLT is much shorter. The structure of a normal one family CLT house of 140 m<sup>2</sup> can be built in 2 days with a group of 4 builders. Even if experience counts also when building with CLT, it is much easier also for beginners to start with this type of construction because it is pretty simple and straight forward. Another advantage is the fact that it is a dry building method which does not require long drying times. CLT houses can also be built during the winter months.

#### 3.3.3.3. Comfort and healthy living environment

Wood is known to feel warm when we touch it, unlike concrete, stone or bricks. But it is also a natural humidity regulator. Its' moisture content matches ambient air, providing natural humidity stabilization and regulation. The positive effects of massive wooden surfaces have also been tested. A study made by Joanneum Research [1] in Austria showed that the children who had their classes in a “solid wood class room” had slower heart rates and better vagal tones than their school mates who had their classes in a “standard” class room (with gypsum boards, PVC etc.). See also next figure 6.



Figure 6 – Austrian school class; (a) with solid wood decoration; (b) with gypsum board (walls and ceilings) and PVC (floors) decoration.

CLT is made with massive timber boards and normally the boards are not treated with any chemicals. Many CLT producers use also formaldehyde free adhesives and therefore the end product does not include any harmful (or toxic) substances. When CLT structure is left as the final interior surface, the natural wood is regulating the indoor air humidity. In some cases when the indoor air is very dry, an additional humidifier might be necessary.

## 4. LEVELS OF PREFABRICATION

### 4.1. Ready-cut CLT elements

The most common way of building with CLT elements is simple erecting the structural elements (cut-to-size) without insulation or any other functional or decorative layers. The elements have been cut to their final sizes and forms in the factory, according to the CAD-plans. This level of prefabrication is already speeding up the building process quite significantly compared to traditional building methods. The structure (incl. roof if made with CLT) is erected very rapidly which means that in most cases the cranes are needed only for a few days. See also figure 7a for a typical example of the CLT building site.

This 1<sup>st</sup> level of prefabrication means that still much work is needed at the building site. After the structure is on place, the elements need to be insulated outside, normally with wooden fiber panels. Normally those insulating panels are fixed to the CLT elements by special screws and a plastic washer (see figure 7). Depending on the building regulations, also other layers are needed, such as gypsum boards in the interior (for fire resistance and acoustics) and perhaps also some additional insulation in the interior side. The final layer in exterior can be done with different façade materials, which are normally fixed to the structure with wooden laths, enabling a ventilated façade or directly to the insulation layer. Especially in extreme hot climates it is recommended to leave a ventilation gap between the structure (or insulation layer) and the final exterior façade.



Figure 7 – Building with cut-to-size CLT elements; (a) CLT wall panels erected; (b) Fixing the wood fiber insulation panel to the CLT wall with special screws and a plastic washer.

This first level is the easiest way to begin with CLT construction as it does not require any big initial investments. Previous experience in timber construction is a big advantage as it makes the work on-site much easier, but after a few projects even a “new comer” can erect a CLT building in a matter of few days. It is very important to control also the next steps in the process, such as installations and finishing, in order to ensuring the best final quality.

#### 4.2. Prefabricated wall and floor elements

The further step in the “value chain” is to manufacture the wall and floor cassettes in a factory in which case also insulation and other layers are fixed to CLT elements. In many cases also installations and the surfaces are finished at the factory. Normally this step is carried out by the company which also designs, sells and erects the building (prefabricated house company). In this case very little time is needed at the building site. (See Figure 8)



Figure 8 – Assembling of a prefabricated wall element.

There are pros and cons also with this 2<sup>nd</sup> level of prefabrication. The most important advantages of the prefabricated wall and floor elements are the speed, quality and better time management. Prefabrication at the factory reduces errors and makes it much easier to control the quality. The whole building process can be managed better at the factory than at the building site which improves the “time management”. As a result, costs can be better controlled. In this system there are some challenges which relate to double transport (first from CLT factory to element factory and second from element factory to building site). In general this makes sense only with limited distances, as transport costs are generally high.

This level is only possible with an initial investment on a building, machinery and human resources. Naturally the level of technology can be also pretty low in the beginning.

### 4.3. Modular CLT houses

The highest level of prefabrication is modular construction. This means that the whole house is prefabricated at the factory, delivered “turn-key” to the site and placed on top of the foundation. This building method is getting very popular in Europe, especially in bigger building projects where a lot of units need to be delivered in a limited time frame.

Modular construction can reduce building time by up to 50-70% compared with traditional concrete elements, for instance. In addition to speed, wood-based modular building offers quality and ecological raw material benefits. The modules are built from start to finish indoors and the modules are not exposed to moisture or variable weather for instance at any stage of construction.

The Stora Enso Hartola unit manufactures modules and large-scale elements based on cross-laminated timber (CLT) and other Stora Enso wood products for multi-storey and urban construction needs. See also following figure 9 about Hartola modules.



Figure 9 – Stora Enso Hartola CLT modules; (a) Modules pre-fabricated at the Hartola unit; (b) Ikea BoKlok multi-family modular CLT housing units in Vantaa.

## 5. FREEDOM OF DESIGN

Some of the main advantages of designing with CLT were shortly discussed in the chapter 3 and that discussion will continue in this chapter.

The “minimalist” design concept has been pretty difficult to adapt for timber design until CLT created totally new opportunities for it. Now it is possible to design large open spaces without any intermediate supports also with timber structures, and normally much more economically than with concrete structures. This is demonstrated already in many contemporary architectural magazines around Europe. See also some examples of this type of architecture in the figures 10 and 11.



Figure 10 (a, b) – One family house designed with CLT (Maaars achitecture).



Figure 11 (a, b) – One family house designed with CLT (Luxembourg).

The pure forms which are provided by the different compositions of concrete slabs and precast elements and are so highly appreciated by architects can be also obtained with CLT. The big difference is that it takes a huge effort in technical skills and control at the building site to reach the high quality end result for a building made with concrete.

CLT makes the construction of this type of minimalist architecture easier accessible. Modern timber design programs and professional implementation on-site, added to various different possibilities of element sizes, simplify enormously the technical challenges and supervision of the construction in comparison with conventional building materials.

Large dimensions of CLT, and the possibility to cut and process the elements to needed forms gives a great flexibility in the design of structures. Actually CLT design is not limited to a symmetrical or linear structure, but it can be used for many forms and structures. It can be used as a panel or as a beam. It has a very wide variety of applications. The next figure 12 is one example of the special designs allowed by CLT.



Figure 12 – Spiral Tower pre-fabricated with CLT.

## 6. LIMITATIONS OF DESIGN

This chapter will focus on some limitations that should be taken into consideration when designing with CLT. These are only general suggestions which should be checked with the CLT manufacturer as the properties and recommendations might vary.

First of the limitations comes the natural durability of spruce, which is the main species for CLT. Spruce is not naturally durable (actually it is little durable against the fungi), neither can it be impregnated. This means that CLT should be only used in service class 1 or 2. More information about the natural durability of different timber species can be found in the European standard EN 350-2 [2] and about the service classes in EN 335-1 [3].

Construction details should be well taken care of when looking into building physics. This relates also to CLT structures. Especially acoustic performance is an issue which should be analysed more carefully in case of separating walls (between apartments). Also in a one family house the intermediate floor needs more “mass” in longer spans in order to avoid any uncomfortable vibrations related to impact sound. Different solutions for improving the acoustic performance of CLT structures can be found in the Dataholz website ([www.dataholz.at](http://www.dataholz.at)) and also from different manufacturers’ websites and catalogues.

In general CLT elements have a good fire resistance due to their “massiveness” but it is still good to check the structural design in case of higher fire resistance requirements. Every manufacturer has carried out their own fire tests because the lamella thicknesses are different and they define the fire resistance of the CLT panel.

Perhaps the most important limitation in design with CLT is due to the transport of the elements which defines the element size. Even if it would be possible to manufacture very large size elements, it might mean such a big additional cost that many times it is better to design the structure with smaller elements which can be transported with a standard truck. The limiting sizes are 2.95 m width and 13.6 m length for a standard truck.

## **7. PROCESS FROM DESIGN TO THE BUILDING SITE**

### **7.1. Design & structural calculation**

Design process of a CLT house in an ideal case would be based on the standard sizes of a manufacturer because that way the costs can be optimized. Naturally it is also possible to design with unlimited element sizes and later on divide those to the individual elements. In that case there might be more material loss. In the design process also all the big openings, such as window wholes, can be planned as “cut” from the CLT element or designed with CLT or glulam lintels which connect one CLT elements with each another. This depends on the size of the opening and the general design concept.

The thickness of the wall, floor and roof element should be calculated with a design program, normally provided by the manufacturer. Most of the manufacturers also provide pre-dimensioning tables, where the thickness can easily be chosen from. If the project is more complex and it is not very clear, which thickness of CLT should be used, it is better to leave the structural calculation in the hands of a professional structural engineer. In bigger projects it is highly recommended, because normally manufacturers do not take any responsibility if the structure has not been calculated by a local structural engineer.

CLT and its’ dimensioning is not yet defined by a harmonized European norm, and therefore every manufacturer has defined its’ own CLT product in a technical approval. There is already a draft for a European norm EN 16351 [4] which will define the minimum requirements for CLT in the near future, but at the moment there are couple of national norms and technical approvals which should be used for the dimensioning of CLT.

The “new” DIN 1052:2004-08 [5] handles CLT in couple of chapters, but most of the information, especially characteristic values for CLT, should be taken from the technical approvals of a manufacturer. Some basic principles for the dimensioning should be also taken from the Eurocode 5 (EN 1995-1-1:2008 [6] & EN 1995-1-2:2004 [7]).

### **7.2. Quotation**

After the design and pre-dimensioning, a CLT manufacturer can calculate the needed material and make an offer. For this the customer needs to provide the tender text (cutting waste must be taken into account) and individual element drawings.

In case that a customer requires assistance with the preliminary design, he/she needs to provide also following information: imposed load, constant loads (superimposed load, floor structure, etc.) and location of the building (for snow and wind loads).

### **7.3. Order & manufacturing**

If the customer is happy with the offer and wants to place an order for the manufacturer, the technical office will need the CAD-drawings of the individual elements, which should include the following information: element numbers; span directions; element thickness; complete dimensions; element joints; surface qualities; and, visible side.

After receiving this information, the technical office will start the definitive planning of the project. They will optimize the individual elements in the bigger “master panels” and finally provide final production plans, element -, freight- and charging lists which should

be confirmed by the customer. If customer confirms the plans, the factory can start the manufacturing of the elements. They can also give the exact delivery date at this stage. Normally it takes approximately 20 days between the receipt of the CAD drawings and the delivery of the elements. This naturally depends on the manufacturer and the time of the year. Summer is naturally most busy for all manufacturers as most of the projects will be built then. It is always recommended to ask for the exact delivery time before ordering.

### 7.4. Transport

A standard trailer can be loaded to a maximum of 25 t in the case of horizontal transport, with a maximum load length of 13.6 m and a maximum load width of 2.45 m. If the panel thickness permits, CLT elements with a maximum length of 16.0 m can also be transported with special equipment. A density of 470 kg/m<sup>3</sup> can be applied to calculate the load weight. This means that a maximum of 50 m<sup>3</sup> of CLT solid-wood panels can be transported horizontally per truck load (depending on the articulated truck). See also figure 13.

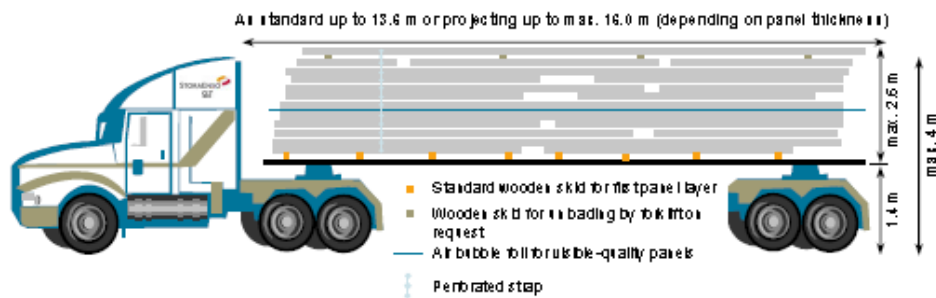


Figure 13 – Example of the standard CLT transport in a horizontal load.

A mega trailer can be loaded to a maximum of 25 t in the case of vertical transport, with a max. load length of 13.6 m and a max. load height of 3.0 m. As a result of the A-shaped frames, the total load capacity is lower than with horizontal transport (max. approx. 45 m<sup>3</sup>, depending on the panel edge dimensions and thicknesses). Each trailer has at least 6 A-shaped frames against which the CLT panels can be leaned and then screwed to each other. For an example of the vertical load, see also the next figure 14.

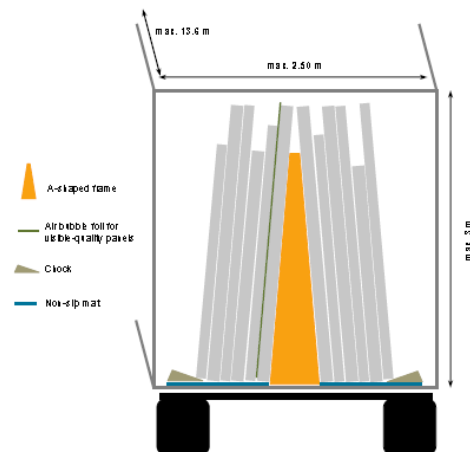


Figure 14 – Example of the CLT transport in a vertical load with a megatrailer.



## 7.5. Machining & assembly

CLT elements are normally “precut” and processed according to the CAD-drawings after the normal manufacturing process. The most used CNC processing machine is Hundegger which can make most of the needed cuttings, drillings etc. The most common machining options include the window and door cutouts, single and double rebates for element joints, purlin and rafter notches and different circular holes or bores. Any special machining operation must always be clarified individually in advance and checked with the manufacturer for its’ technical feasibility.

For the assembly of the elements, a basic set of tools are needed. It is good to check with the manufacturer what tools are necessary before the assembly begins. The same is valid for the preparatory work in the building site before the elements arrive.

Before assembly it is also important to check that the delivery of the CLT elements on the delivery vehicle and the journey for the assembly crane can be carried out without problems, with reference to the roads, vertical and horizontal clearances, bridge loads, power lines and telephone cables, etc.

For the assembly it is not totally necessary to have experienced carpenters, but it is very recommendable to use at least a supervisor with previous CLT assembly experience in case of the first assembly of a CLT house. That will make it much easier and faster and many mistakes can be avoided. After a few projects it is easy and fast to assemble CLT structures and supervisors are no more needed.

More information about assembly of CLT elements can be found from manufacturers and participating different courses organized by CLT manufacturers, connectors providers and different associations.

## 8. FUTURE OPPORTUNITIES FOR CLT IN HOUSING

CLT will open totally new opportunities for wood construction, especially in higher residential buildings. But it should not be taken as a general solution to all architectural challenges. Every building material has its’ own place in the building materials’ family. CLT has a special position in high demanding architectural houses with large surfaces and for people who look for high comfort and living quality. As it is made almost 100% of wood, it is not cheap and cannot be a solution to all housing problems. Though, it can be an interesting solution for social or affordable housing in case of modular construction where the “economy of scale” is an important factor.

CLT will most probably play an important role in the “urban multistory” development as it is seen as a “more ecological” substitute for concrete elements. But even there it has still a hard battle to go, as it needs to be also economically attractive and deliver the same (or better) results in terms of thermal, acoustic and fire resistance as concrete does. The big advantage with CLT is its’ capacity of storing carbon (CO<sub>2</sub>), which makes it as a very interesting alternative for “green cities” which want to reduce their CO<sub>2</sub> emissions.

It is not yet clear where the “competition” of the highest timber building in the world will end, but one think is for sure: More and more high timber buildings will be seen in many European and North American cities in the next decade.

They might not look like timber buildings at all (most new ones in London have brick facades) and probably they cannot even be distinguished from the other surrounding buildings.

Hopefully there will be also nice reference projects which will promote the use of this environmentally friendly material, such as the “Wood City” concept which is being

planned to Helsinki area (see also one design idea of the project in figure 15).



Figure 15 – Future “Wood City” where CLT can play an important role.

## 9. REFERENCES

- [1] Mayrhofer, Mario: Gesundheitliche Auswirkungen einer Massivholzausstattung in der Hauptschule Haus im Ennstal. *Joanneum Research, Institut für Nichtinvasive Diagnostik*, Weiz, 2009.
- [2] EN 350-2. Durability of wood and wood-based products. Natural durability of solid wood. Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe. *European Standard*, CEN, Brussels, 1994.
- [3] EN 335-1. Durability of wood and wood-based products. Definition of use classes. Part 1: General. *European Standard*, CEN, Brussels, 2006.
- [4] Draft EN 16351. Timber structures. Cross laminated timber. Requirements. *European Standard*, CEN, Brussels, 2012.
- [5] DIN 1052:2004-08. Design of timber structures. General rules and rules for buildings. *Deutsches Institut für Normung*, DIN, Berlin, August, 2004.
- [6] EN 1995-1-1:2008, Eurocode 5. Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings. *European Standard*, CEN, Brussels, 2008.
- [7] EN 1995-1-2:2004, Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1-2: General – Structural fire design. *European Standard*, CEN, Brussels, November 2004.

## Solar Prototypes and digital means of production

Rodrigo Rubio

*R&D, IAAC, Institute for Advanced Architecture of Catalonia, Barcelona*  
rodrigo@iaac.net

### ABSTRACT

Sun and architecture were primary undetached forces. But fastness and a badly understood industrialization made us to forget it. Now energy and material efficiency come back as critical bullets on innovation agendas. Mass customization, digital means and new fabrication techniques are challenging traditional standardization patterns. Information technologies changed the way we work, the way we interact, the way we produce and distribute goods... But still, they did not change our cities, yet.

### KEYWORDS: ENERGY, MASS CUSTOMIZATION

### 1. INTRODUCTION

The Endesa Pavilion is a self-sufficient solar prototype installed at the Barcelona Olympic Port within the framework of the BCN Smart City Expo World Congress (SCEWC 2012). Over a period of one year it will be used as control room for monitoring and testing several projects related to intelligent power management.

The Pavilion is the first 1:1 prototype of a wooden solar-tracking façade system applicable to different scales and latitudes. An adaptive modular system based on parametric modeling and digital fabrication. An algorithm coded to optimize geometries depending on local conditions. A constructive system that tries to integrate passive strategies with active ones, traditional knowledge with cutting-edge technology, local conditions with global logics...

The Endesa Pavilion is just a skin that reads and makes readable the energetic conditions that surrounds it. It is a result of a long combined research on self-sufficiency and information technologies, aiming to work on mechanisms to merge natural processes with digital ones.



Figure 1 – Endesa Pavilion. Southwest façade and electric bike.

### 1.1. Form Follows Energy

Like a tree, the pavilion takes the energy from the sun, and its geometry describes the one of the seasonal sun paths. From the famous XX-century mantra of “form follows function” to its XXI century version: “form follows energy”.

Ancestral recipes regarding energy and climatization are updated with mathematical precision due to the contemporary digital modeling capabilities. Like a tree leaf, each building component is producing energy and generating protection at the same time. And each one of these components, each “leaf”, is precisely calculated to optimize its performance. The building is thought as the result of the simple aggregation of these intelligent components, in the same way we could understand a tree as a result of the aggregation of a leaves.

### 1.2. Mass customization

As a prototype, the pavilion is a research on the possibilities of combining traditional industry with the latest digital fabrication techniques. Each façade module is calculated and generated using parametric design tools, is fabricated using CNC milling on microlaminated wood panels, pre-assembled, transported and “plugged-in” the structure, all in a process of five weeks. Conventional industries, used to mass production processes, and new technologies, adapted to mass customization requirements, are inter-weaved in a single continuous workflow.

The pavilion is not a closed item but a construction system. It is not intended as a definitive and finished icon but an open and multi-scalar proposal. It is a façade system based on a set of mathematical rules and logics ready to export and to be adapted to any location or material, ready to be integrated into the local conditions and thought to be locally fabricated.

## 2. MATTER

And in this case, it is wooden. When Salvador Rueda (Spanish urban ecologist) was asked about the materiality he stated: “a solar building should be made out of a solar material”. Wood is a renewable material. It grows with the sun. The same energy that powers now the photovoltaic panels of the pavilion made grow its wooden structure.

Self-sufficiency is a matter of scale of thought. When we open a tap, we are consuming resources from distant infrastructures, affecting landscapes located kilometers away. When we fabricate in wood, instead of opening new quarries, we are activating forests, we are generating productive landscapes. Understanding the whole production chain, along all scales, is basic to reprogram the process, to achieve real and productive self-sufficiency. Architecture should integrate and try to give transparency to these logics.

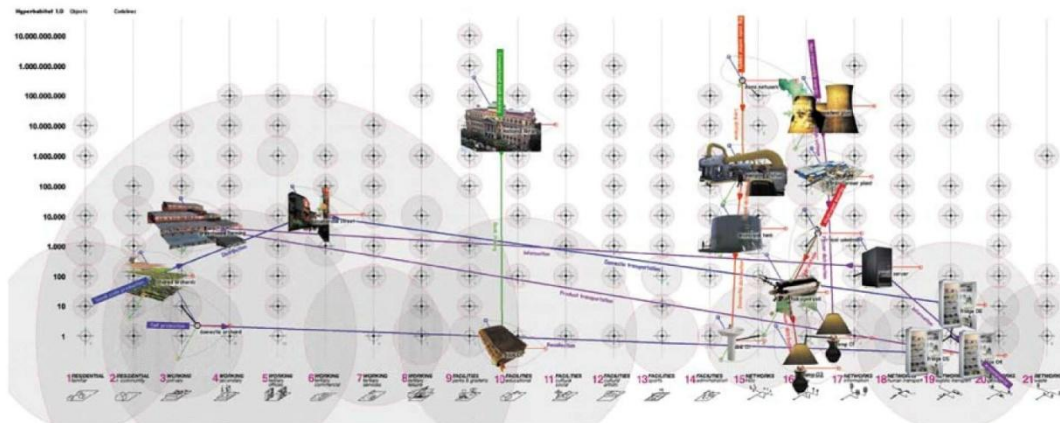


Figure 2 – Hyperhabitat. Venice Biennale, Multi-scalar diagram.

Endesa Pavilion wooden systems are exposed to the user: microlaminate fir for structure (kertoQ 45mm), FJI joists, laminate fir as exterior finishing (kertoQ 27mm), 9mm laminate birch for interior finishing, OSB as flooring, vegetal fibers insulation, all joints and construction layers are exposed.

The warm, welcoming and domestic perception of wooden structures has a deeper meaning. Wood is an understandable technology, easy to trace and intervene. Technology here is not a black box. We tried to apply this same principle to each one of the layers of the design process. This transparency is the first step in generating environmental awareness.

### 3. MATERIAL ORGANIZATION

First automobiles were horse carts with engines attached to them. First car designers weren't able to realize that when a new technology appears, it forces fundamental changes transforming all logics of design. It took at least two decades to cars to start looking like cars. Sometimes, the relation between innovation, industry and society is that slow.

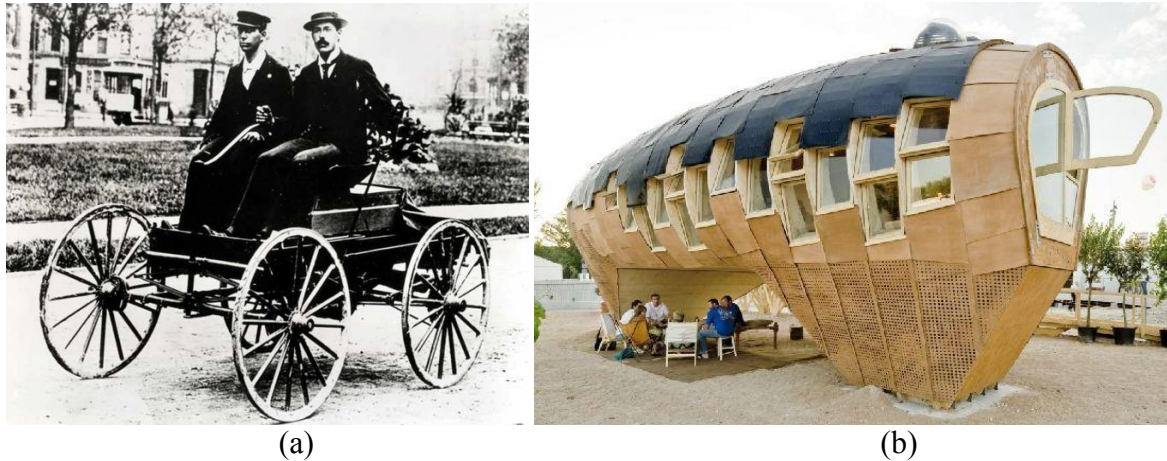


Figure 3 – New technologies integration, (a) Charles B. King, Detroit 1896;  
(b) Fab Lab House, IAAC, Madrid 2010.

And architecture is not faster than that. Today, we are witnessing a similar shift of paradigm. Climate change and resources scarcity are in the focus of new economies and geopolitics. But architecture stays the same.

Sustainability and self-sufficiency are triggering innovation, but too many examples and attempts of integrating these new technologies end up in mechanical additions and plug-ins, "old strategies" plus "new technologies". A solar house is not a house with solar panels on top. Like in the case of the automobile, new technologies demand from us to generate new design logics.

In nature geometry is the coherent result of integrating physiology and physiomy. In nature metabolism and form are different expressions of a same system. Form follows energy, thermodynamics, chemical processes, changes, growth... The material organization of a tree is making transparent its metabolic processes. In front of that we could say that the Sullivan's statement - "form follows function" is somehow limited by not taking time and energy management into consideration.

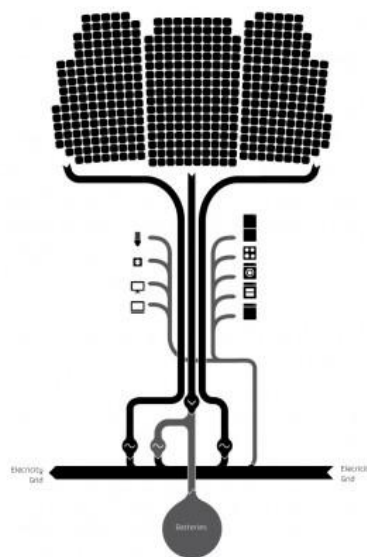


Figure 4 – Metabolics and integration; Fotovoltaic tree diagram, IAAC, 2010.

The Endesa Pavilion research represents the effort of integrating the logics, technologies and processes demanded by this new paradigm into a single constructive system. A constructive system based on adaptation and not on repetition. A code that is able to read the context conditions and respond to them.



Figure 5 – Natural logics of integration; Fotovoltaic tree diagram, IAAC, 2010 ;

#### 4. DATA MANAGEMENT

And it is through the new information technologies how we are able to encode this responsiveness. Data management, together with the new digital tools, bring us closer to the real dynamics. Architecture, traditionally closer to the idea of permanence, is able now to integrate the logics of change.

Parametric design it's being applied in other disciplines and industries since time ago, but it was only recently imported into architectural design. And the jump from analogue to digital is not just that one of a simple switch of tool.

- 1) Digital data management allow us to model complex dynamics, that is, introducing time as a base parameter. We can calculate shadow casting effects along the whole year, predicting the exact point where the shadow will arrive some specific day at some specific hour. We can model thermal behaviors, wind flows or solar radiation with incredible accuracy. Today, dynamic and immaterial processes can be described and managed with the same precision than in the past we were dealing with statics and materials.
- 2) Parametric design opens the logics of design. Geometries are (they can be now) the precise result of a set of transparent and unveiled mathematical and physical calculations. There are no random gestures, just evolutionary laws being displayed. And this mathematical logics can be clearly exposed, transparented and exported. A design today is not (should not be) the definition of a static object but the description of the set of rules that make it work.
- 3) The openness of the logics of design make the whole process exportable. The same code of the Barcelona Pavilion could be run with Helsinki weather data. The logics

would be the same, but the code would give a different geometrical output. We export logics instead of exporting materials or plans.

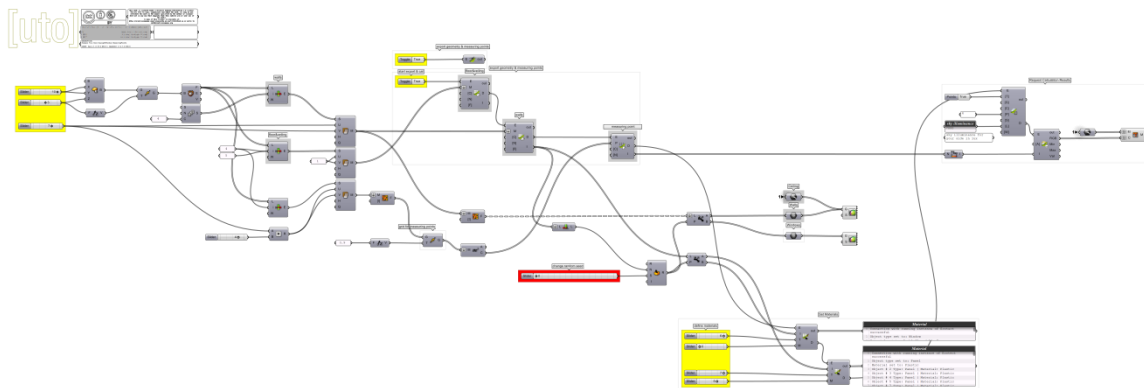


Figure 6 – Grasshopper environmental analysis through Geco, IAAC, 2011.

Endesa Pavilion is just the Barcelona version of an adaptative code able to be applied (grafted) in different situations with different demands. A simple logic drives the whole design. The relative position of each façade component with the different seasonal sun-paths defines its geometry (openness, deepness and paneling inclinations).

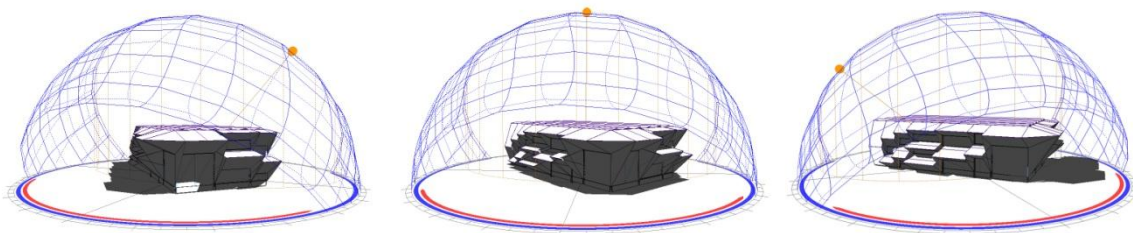


Figure 7 – Ecotect summer modeling. IAAC, 2011.

Each component is defined globally but resolved locally, calculated individually (module by module) following the same shared rules (topological relations). Each component generates its own energy, controls its own sun radiation, natural light and artificial interior and exterior illumination, storage, insulation... Each component contains and resolves locally all architectural requirements following a single shared logic.

Each module is different because is responding to slightly different conditions. And this level of organic responsiveness was something unthinkable with traditional modeling systems and conventional means of fabrication.



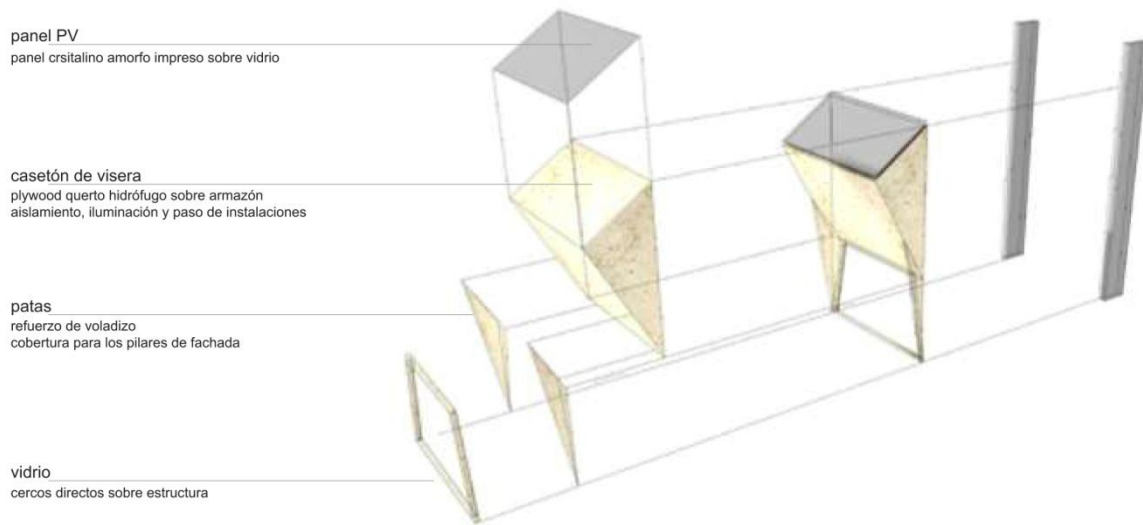


Figure 8 – Endesa Pavilion component elements. IAAC, 2011.

## 5. DIGITAL FABRICATION

Digital fabrication will mean to physical world what internet meant to digital one [1] Massive customization patterns are changing the rules of economy, market and industry.

The second industrial revolution, following fordism principles, was strongly based on imposing types and repetition. Same hotel rooms in distant cities of the world, same façade systems applied interchangeably in Helsinki or Barcelona... But in the success of this "economy of scale" lays the reason of its failure. The loss of identity is also a lack of adaptation. A façade of Helsinki should never be the same as one in Barcelona.

The so called third industrial revolution [2] is already producing the shift from centralized means of production to distributed ones. Digital revolution became physical and today CNC fabrication permits to differentiate and give identity to each constructive system, to each façade module, to each wooden skateboard (not being just a naïve example). Architecture can now respond to the specificities of the user, context and environment locally, freeing from the indistinct impositions of old industrial models.

Endesa pavilion is a laboratory that challenges the alliance between mass customization and mass production techniques. It is a hybrid, made possible thanks to the use of digital fabrication technologies, between industrial scale and craft adaptability.



Figure 9 – Endesa Pavilion component assembly. IAAC, 2011.

A code was scripted (designed) and sent to the factory in the nearby Catalan mountains in two months, the wood was mechanized in two weeks and preassembled in one. The structure was assembled during one week and the façade modules were plugged-in during another week. In total, on-site operations just took three weeks (photovoltaic fields and electric cars charged).

The integration design-to-production was fast and resilient. Flexibility, during this XXIst century, might be more related to responsive adaptability and not anymore to the flat and indistinct.

## 6. SCALE AND TIME

And flexibility is a time-based concept. We update our operative system each year, our laptops each 3 years, our car each ten... The speed of innovation that characterize new technologies demands a time-based design. But buildings and cities are still being designed inside a fictional time-less space. Structures can be performing perfectly fine seventy years, interior distributions thirty, façades maybe fifteen, photovoltaic cells become more and more efficient each year... We should start thinking in temporal dimensions too.

And to do so, to speed up architecture discipline, to get closer to other technology-based industries, we have to work with open and transparent logics. Construction systems should be easy to understand, to manipulate, to adapt and to update. Anybody can understand and intervene on his bike, actualizing it to their changing necessities, but architecture of last decades is each time more like a black box for their users.

After some decades of non-stop construction, market today is in the renovation of the already constructed: recycling, updating and optimizing our cities for a better management of energies. And that is why the prototype was thought as an abstract open-coded plug-in system.

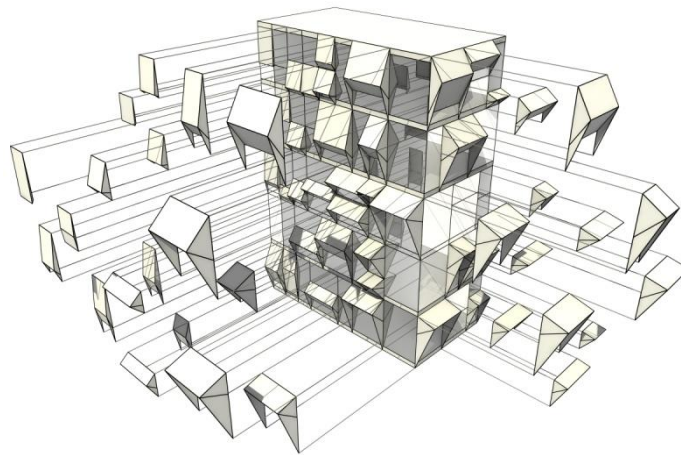


Figure 10 – Multiscalar plug-in system. IAAC, 2011.

The combination of big industrial processes (modularity, prefabrication, standardization...) with adaptive design techniques (parametric design, open code, latitude-responsive...) allows for a flexible “scalability”. In this case, the system outcome is a pavilion in Barcelona, but the same system can be applied to some office hi-rise buildings in Boston, industrial warehouse in Basel or some huts-resort in New Delhi. Open digital code makes it ubiquitous and CNC fabrication makes it local.

## 7. SELF-SUFFICIENCY

Finally, self-sufficiency is a matter of scale. It is a matter of integrating in the cycle processes that were out of it. It is a matter of thinking on open networks instead of closed objects.

Endesa pavilion is now a totally self-sufficient building, working exclusively with sun energy. But smart cities aren't made just out of smart buildings. It generates 140% of the energy it consumes, uses electric cars as batteries and charges a set of electrical bikes. The surplus of production of Endesa Pavilion could feed the consumption of a conventional (consumer) house.



Figure 11 – Endesa Pavilion electrical ecosystem. IAAC, 2011.

The prototype was used to perform experimental research on digital management of energy grids. By being able to control digitally the flows of energy we could cross real-time data with decision making. The internet of energy [3] brings the flexibility of the cloud to the physical world.

Networking, collaborating and interchanging are essential means to make a cohesive resilient system. That's why new informational technologies, with their inherent open participatory character, are crucial tools. It's in our hands to use it in the right way.

As internet did in the digital sphere, self-sufficiency is blurring the distinctions between producer and consumer. Traditional hierarchical centralized structures of power (energy and goods) will be slowly counterbalanced by distributed networks of producers-consumers. Self-production opens up the way to a new horizontal set of relationships.

The fundamental shift of paradigm here is in understanding cities (and architectures) not as efficiently designed machines, but as dynamic ever-changing ecosystems.

## 8. REFERENCES

- [1] Gershenfeld, Neil. *FAB, Basic Books*, New York, 2005.
- [2] Rifkin, Jeremy. *The Third Industrial Revolution*, Palgrave MacMillan, New York, 2011.
- [3] Vermesan, Ovidiu. *Internet of Energy*, SINTEF, Helsinki, 2011.

## Sustentabilidade e independência energética da arquitetura viva, a solução “CEM”

Manuel Vieira Lopes

Universidade do Porto

*mvlopes@arq.up.pt, casasemmovimento@gmail.com*

### SUMARIO

Casas em movimento é um conceito de arquitetura viva, inovação e sustentabilidade que interage com a natureza, mais propriamente o sol, que se funde com a envolvente e fundamentalmente que se adapta as necessidades do momento da família.

Um projeto pioneiro no mundo inteiro, com propriedade industrial e intelectual e marca internacional!

### PALAVRAS-CHAVE: INOVAÇÃO, MOBILIDADE, ADAPTABILIDADE, SUSTENTABILIDADE

#### 1. DA IDEIA À CONCEÇÃO DE UMA HABITAÇÃO VIVA

*“A minha procura “gira” em torno de uma Arquitetura viva, com uma composição plástica integrada e uma diversidade espacial forte!”*

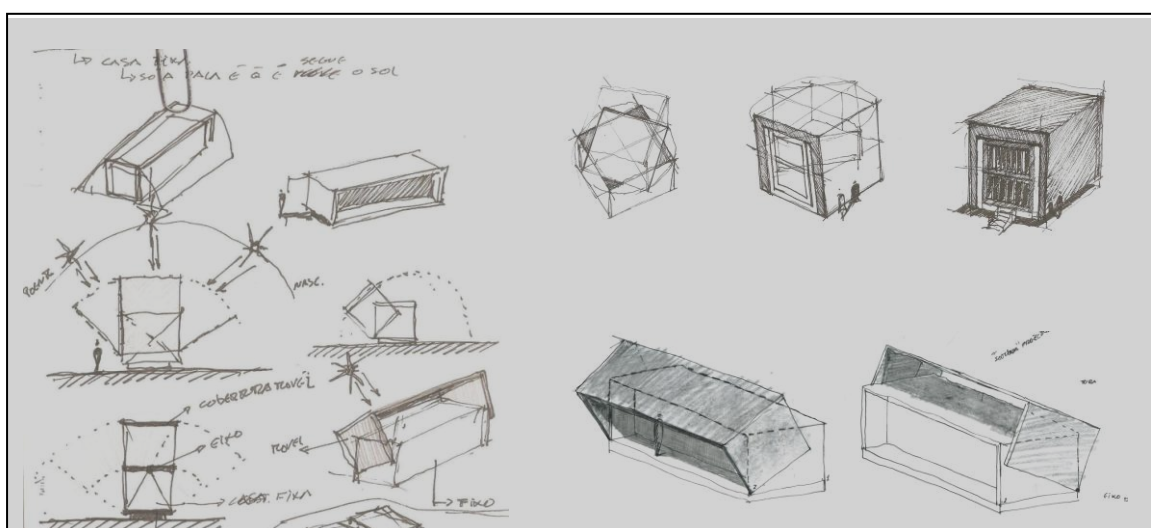


Figura 1 – PROCESSO CRIATIVO – estudos do movimento da casa como conjunto das várias partes que fazem parte de um todo.

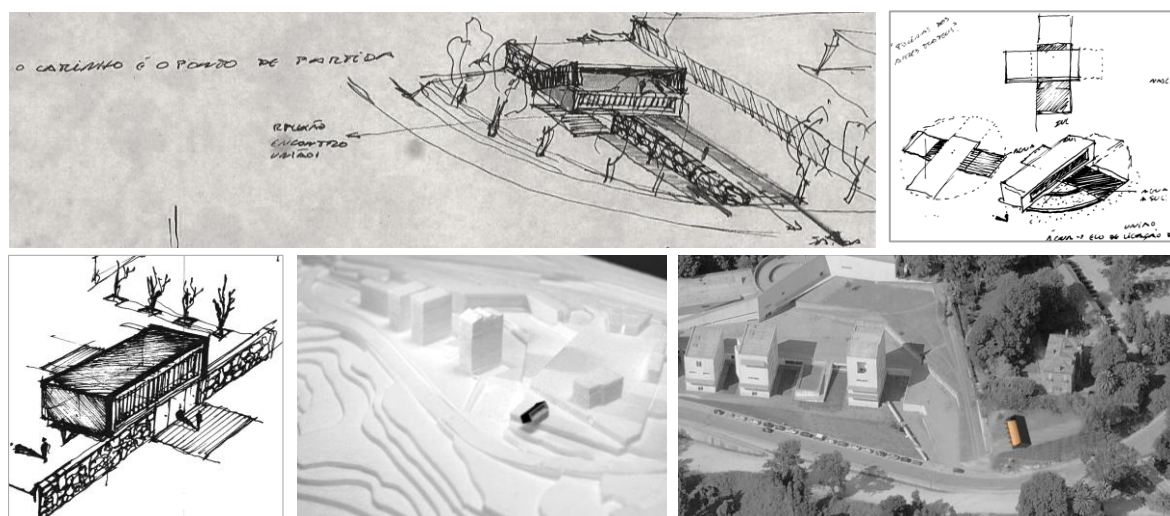


Figura 2 – PROCESSO CRIATIVO – O Sítio. Implantação no *campus* da Faculdade de Arquitectura.

*“a solução está no sítio porque eu estou lá” siza vieira*

## 2. 2. CONCEITOS CASAS EM MOVIMENTO

### 2.1 Analogia à árvore – a casa que se adapta as estações do ano

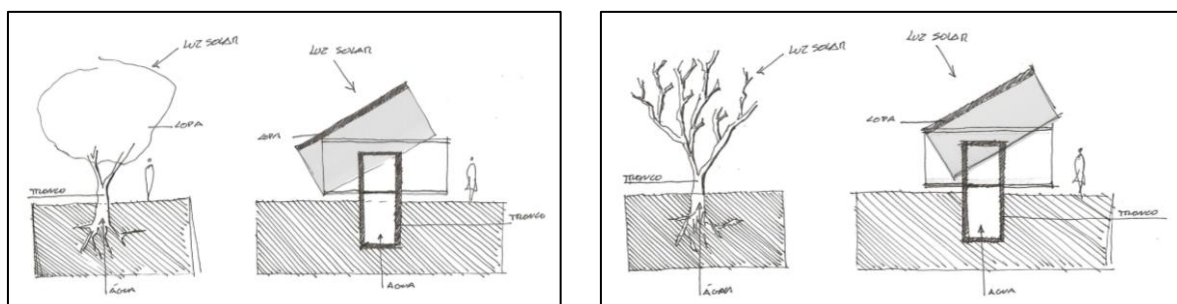


Figura 3 – Analogia da casa à árvore de folha caduca, nas diferentes estações do ano.

Tal como uma árvore de folha caduca cuja copa se modifica com as estações do ano, a cobertura da casa tem posições distintas, permitindo a criação de sombras no verão e a incidência do sol no Inverno. Os movimentos articulados da cobertura móvel foram desenhados de forma criar espaços e a otimizar a captação fotovoltaica e os efeitos de sombreamento ou permitir a incidência (luminosidade interior vs conforto térmico), o que significa um ganho de iluminação em 30% e um ganho térmico entre 60% e 80%.

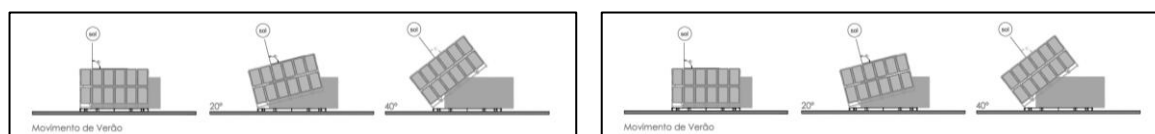


Figura 4 – Demonstração dos diferentes movimentos da cobertura fotovoltaica (Verão e Inverno).

## 2.2. Efeito girassol – a casa que reage com a natureza, puxada pelo sol

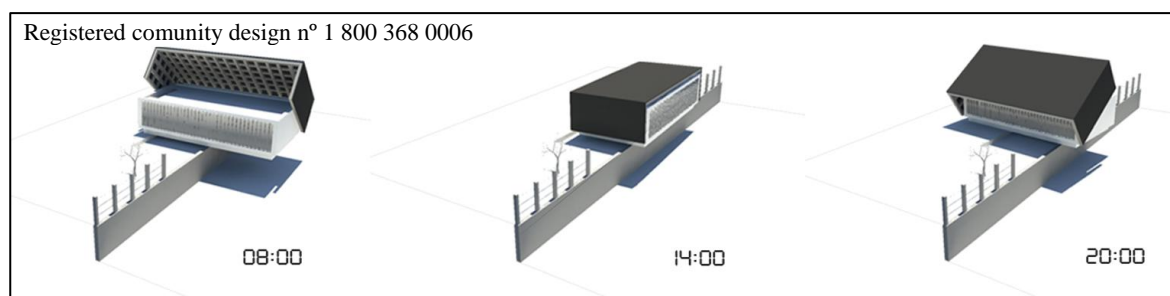


Figura 5 – Diferentes posições da casa ao longo do dia, implantada nos socalcos do Douro.

A combinação dos dois movimentos de rotação – o movimento de rotação da própria casa, que gira aproximadamente 180° durante o dia, de nascente para poente, e o movimento de rotação da cobertura revestida a painéis fotovoltaicos, que a reveste, protege e alimenta, criam-se condições de otimização da utilização da iluminação natural e de um maior aproveitamento da energia solar, resultando em elevados níveis de eficiência energética. Com efeito, estes dois movimentos combinados permitem produzir cerca de 5 vezes mais energia do que aquela que consome, sabendo que o movimento de rotação da casa consome apenas o equivalente a um candeeiro de seis lâmpadas de 60W, ligado durante uma hora, e o movimento da cobertura consome apenas 1Kw (menos do que um ferro de engomar)

### 2.2.1 Movimento da cobertura fotovoltaica e da casa em função da reação com o sol

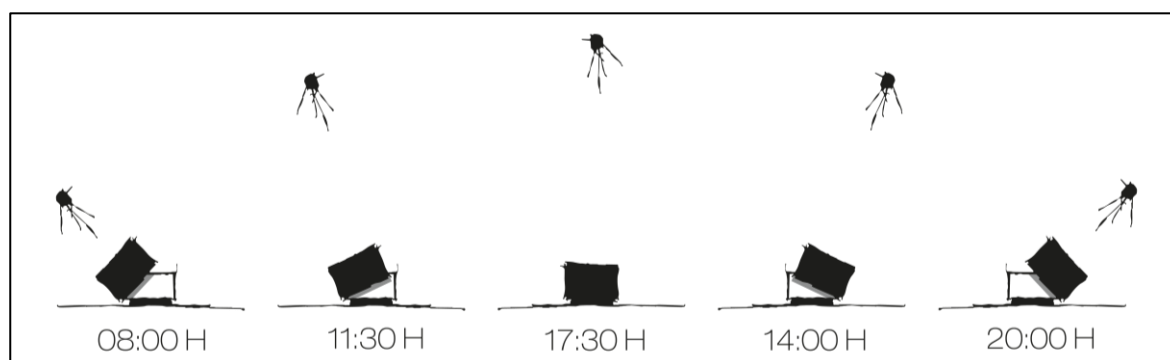


Figura 6 – Diferentes posições da cobertura fotovoltaica ao longo do dia.

O movimento de rotação da cobertura fotovoltaica adapta-se, também, às diferentes estações do ano, criando espaços exteriores cobertos com sombras no Verão e permitindo a incidência de luz no Inverno, o que garante um ganho térmico entre 60% a 80%, bem como um ganho de iluminação na ordem dos 30%.

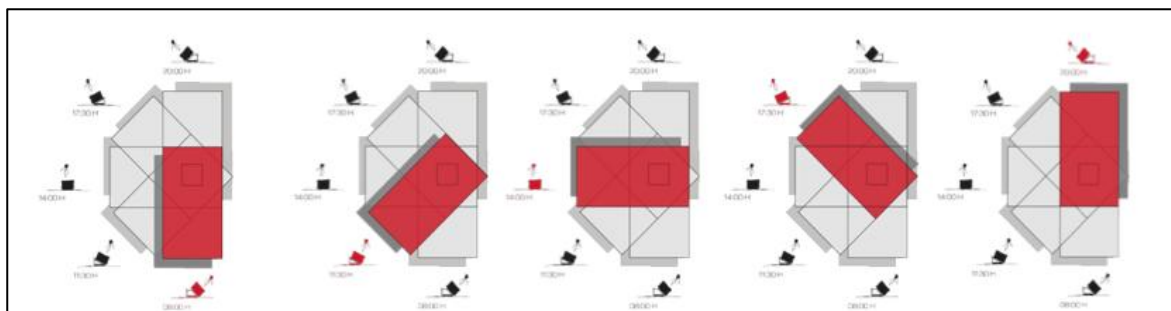


Figura 8 – Diferentes posições da casa ao longo do dia.

A sustentabilidade deste projeto baseia-se na forma como a casa se adapta às condições exteriores e aproveita ao máximo os recursos disponibilizados pela Natureza.

Com os dois movimentos de rotação, a casa desenha, ao longo do dia, o percurso do Sol, criando, assim, condições mais favoráveis para o aproveitamento da energia solar e aumentando a sua eficiência energética.

A sua principal inovação surge com os movimentos de rotação da casa e da cobertura. Estes movimentos são combinados e executados através de uma estrutura metálica que envolve a casa. Esta estrutura fotovoltaica, é como uma pele que a reveste, a protege e a alimenta.

A casa contém um módulo fixo constituído pela cozinha e pela casa de banho, que define o seu eixo de rotação e permite a ligação das infra-estruturas necessárias ao funcionamento da casa, como, por exemplo, as tubagens para o abastecimento de água, drenagem de águas pluviais e residuais, e ventilação.

### 2.3. Mutação de “espaços vivos” interiores e exteriores – a casa que reage com a natureza, puxada pelo sol



Figura 9 – Diversidade espacial em função da reação da casa com o sol e com o utilizador.

Os espaços da “casa em movimento” são mutáveis ao longo do dia, de acordo com as rotinas e as necessidades específicas dos seus habitantes. Esta mutabilidade resulta da interação entre a casa e o sol que permite redesenhar constantemente os espaços interiores e exteriores.

A título exemplificativo, enquanto de manhã a cozinha é mais pequena, já que a rotina diária não permite que, na maior parte das vezes, todos os membros da família tomem o pequeno almoço ao mesmo tempo, à noite a cozinha funde-se com a sala num mesmo espaço, permitindo que a família confraternize enquanto se prepara a refeição.



## 2.4. Polivalência de espaços – translação da parede que cria/caracteriza novos espaços

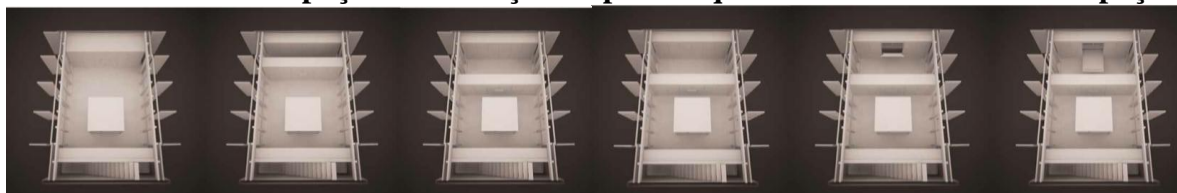


Figura 10 – Diferentes posições da casa ao longo do dia.

Os espaços interiores adaptam-se aos habitantes, oferecendo divisões transformáveis pela mobilidade de uma parede que as aumenta, diminui e transforma o tamanho e os seus limites. A parede desloca-se através de um sistema de movimentação assistida.

### 2.4.1 Cada objeto tem mais que uma função – fazer mais com menos

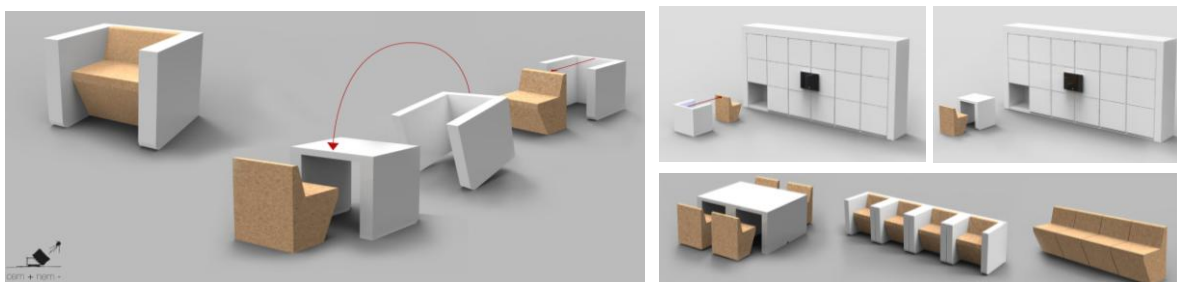


Figura 11 – Objetos que se adaptam e se organizam em função das rotinas do utilizador.

Com recurso à parede/armário/móvel, na qual se pode guardar o mobiliário, é possível alterar a dimensão dos espaços, tornando-a adequada ao momento. No mesmo espaço é, por isso, possível criar um quarto, uma sala de estar, uma sala de jantar ou um escritório, caracterizando-o de forma diferente através do movimento e organização do mobiliário.

## 2.5. Conceito evolutivo (adição/subtração) – a casa que se adapta às necessidades da família

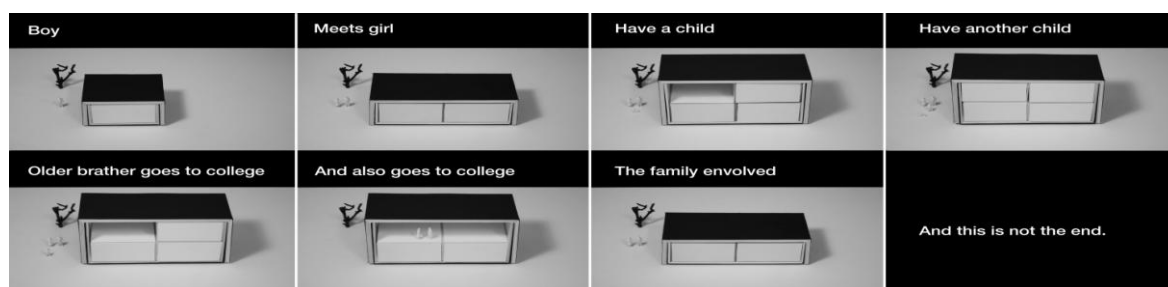


Figura 12 – Módulos que se organizam em função das necessidades do utilizador.

Uma outra característica diferenciadora das Casas em Movimento é o sistema evolutivo que procede da construção modular, o que significa que se podem adicionar ou retirar módulos à casa para que esta se torne maior ou menor, consoante as necessidades da família. A título de exemplo, com a chegada de um novo membro à família pode-se adicionar um novo espaço (um módulo), sendo que quando esse membro crescer e pretender sair de casa, pode levar o módulo consigo e desenvolvê-lo noutra local. Desta forma, cria-se uma construção sustentável, que se adapta às necessidades do momento da família.

Este conceito também se aplica a edifícios de serviços, permitindo que as suas instalações vão aumentando em função das necessidades, e de forma sustentada.

### 3. ESTUDOS TÉCNICOS

#### 3.1. Estudo produção de energia - desenvolvido pelo LNEG

CEM Porto		42 x 235 Wp = 9.87 kWp			
House	Modules	Tilt	Yearly		
			kWh	kWh/kWp	
Fixed _ South	Fixed	30°	14 680	1 487	-
Fixed _ South	Fixed	35°	14 649	1 484	-0.2%
Fixed _ South	Tilt Tracker	10°-60°	15 441	1 564	+5.2%
Azimuth Tracker	Fixed	35°	18 316	1 856	+24.8%
Azimuth Tracker	Fixed	40°	18 631	1 888	+26.9%
Azimuth Tracker	Tilt Tracker	10°-60°	19 422	1 968	+32.3%

Figura 13 – Resumo de resultados de produção de energia face aos movimentos da cobertura fotovoltaica.

As configurações mais interessantes correspondem a casa e módulos fixos a 30°, com uma produção anual de cerca de 14 680 KWh, à rotação da casa e módulos fixos a 40°, com uma produção de 18 631 KWh, e a rotação da casa e variação da inclinação dos módulos, com uma produção de 19 422 KWh.

Notar que, se o consumo médio diário da casa for de cerca de 12 KWh, ou seja um consumo anual estimado em cerca de 4 380 KWh, qualquer das soluções apresentadas produz muito mais energia elétrica que a necessária.

#### 3.2. Estudo térmico desenvolvido pelo LNEG – EFEITO PASSIVO

### CEM: Estudo térmico

**1. Primeiro passo:**  
Avaliar o desempenho da casa em função da orientação (fixa) e da posição da cobertura (com/sem efeito de pala) comparando para cada situação, a solução base/referência com a situação otimizada.

**Solução base:** os parâmetros geométricos e constructivos são os mesmos da solução otimizada. A diferença entre as duas situações: ausência de proteção solar e ventilação natural

**Solução otimizada:** ventilação natural e nocturna e colocação de proteção solar exterior reflectante

Caso Ref.	Posição da casa		Mov.cob.	Redução (%)
Sem pala Sem estores Sem vent.nat.	Fixa_OPT*	Sul (AZ_0°)	Sem pala	74
		SE (AZ_45°)		77
		Nascente (AZ_90°)		81
		SOE (AZ_315°)		79
	Fixa_OPT	Sul (AZ_0°)	Com pala	58
		SE (AZ_45°)		64
		Nascente (AZ_90°)		70
		SOE (AZ_315°)		66
	Fixa_OPT	Sul (AZ_0°)	Mixto	62
		SE (AZ_45°)		64
		Nascente (AZ_90°)		70
		SOE (AZ_315°)		69

\*OPT - optimizado (estores, c/s pala, vent.natural)

**Conclusões:**

1. Cada caso da solução otimizada apresenta uma melhoria em termos da redução das necessidades energéticas equivalente a 60-80% relativamente ao caso base.
2. Os casos que apresentam melhor desempenho energético, são os associados a solução com a cobertura na “posição de verão” (com pala), em qualquer orientação da casa (considerada fixa).




Figura 14 – Resultado do estudo térmico.

### 3.3. Estudo especializado dos sistemas de movimentação - desenvolvido pelo INEGI

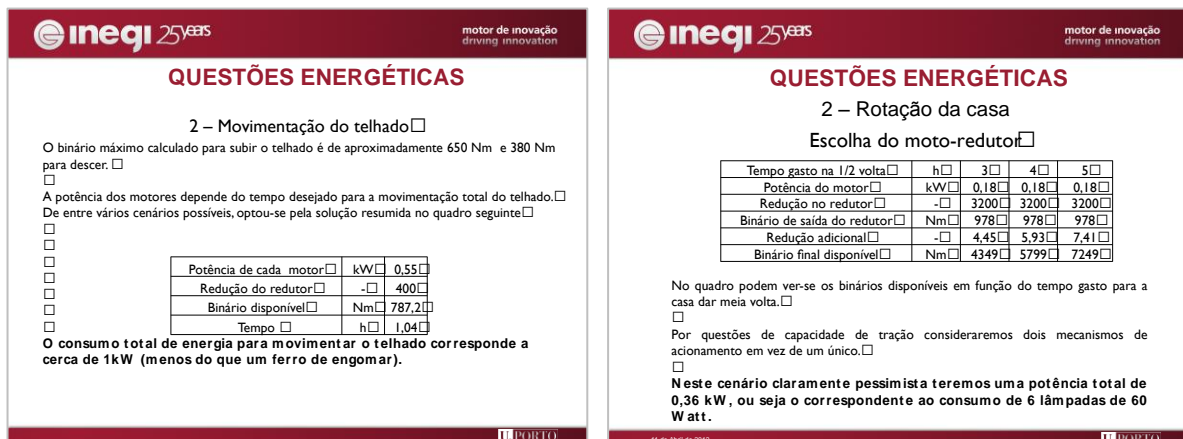


Figura 14 – Resumo de resultados de consumo de energia dos movimentos da cobertura fotovoltaica.

### 3.4. Resultados dos estudos especializados

Os movimentos feitos pela casa desenhando espaços quando são necessários e a energia gerada permite reduzir, ou mesmo anular, a sua pegada ecológica bem como as emissões de dióxido de carbono.

Também a nível económico existe um retorno do investimento mais rápido devido a todas as funcionalidades de poupança de energia, da redução da pegada ecológica que são resultado de uma forte investigação na utilização dos movimentos, fundamentalmente de forma passiva.



Figura 15 – Resumo dos resultados dos diferentes ganhos.

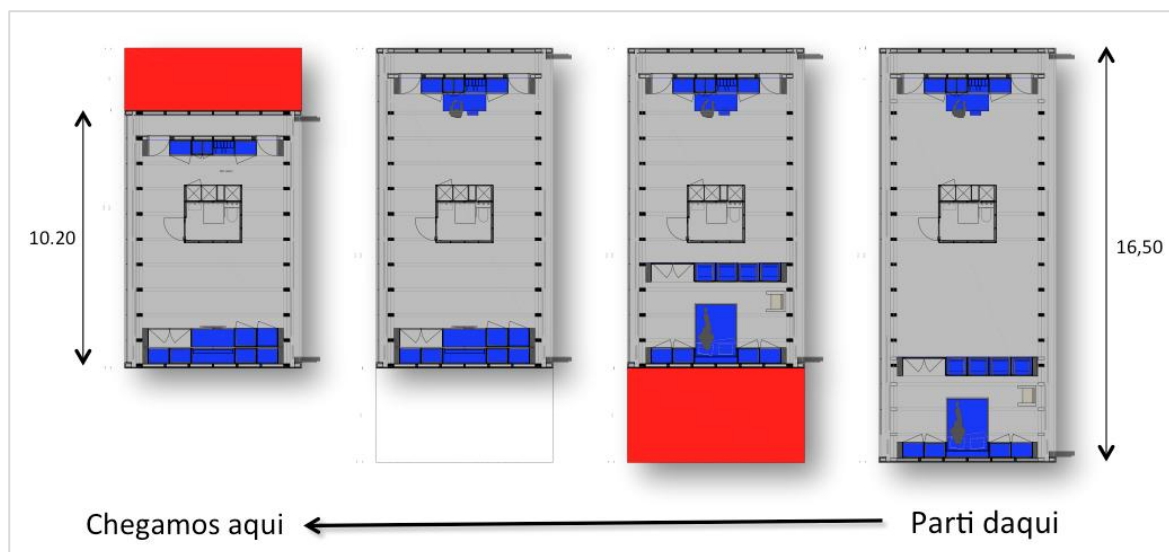


Figura 16 – Resultado de economia de meios face a utilização dos movimentos.

Com os movimentos de translação da parede, reduzimos a área da casa em  $30\text{m}^2$  e com o movimento de rotação da casa reduzimos a área da casa em mais  $15\text{m}^2$ , conseguimos assim, otimizar a casa em  $45,0\text{m}^2$  ou seja 40% de economia de meios/recursos, utilizando os movimentos de rotação de forma passiva

Mas fundamentalmente, continuamos a ter a casa com a mesma área inicial, uma vez que as suas dimensões e o desenho dos espaços se adaptam as rotinas da família, isto é aprecem quando são necessários!

#### 4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO “CEM/SDE” PARA SER IMPLANTADO EM MADRID

O projeto casas em movimento representou Portugal e a Universidade do Porto no maior certame internacional de habitações inovadoras e sustentáveis, a “Solar Decathlon Europe”, realizado em Setembro de 2012 em Madrid, onde foi conseguido fazer a prova de conceito de movimentação da cobertura fotovoltaica na posição de inverno.

Esta é a primeira candidatura portuguesa aceite para participar neste evento internacional (Solar Decathlon Europe), tendo tido por isso um impacto muito positivo que se estendeu a todas as organizações e sistemas científicos e tecnológicos, bem como a todos os parceiros que acreditaram no projeto e o fizeram acontecer.

Na construção do protótipo privilegiou-se, a utilização de materiais sustentáveis, característicos da indústria portuguesa, como a madeira e a cortiça.

A utilização da cortiça é estratégica, já que este é um bom material isolante quer a nível térmico que a nível acústico, e que permite, inclusive, ser reciclado e reaproveitado (o que acontece no revestimento das fachadas da casa).

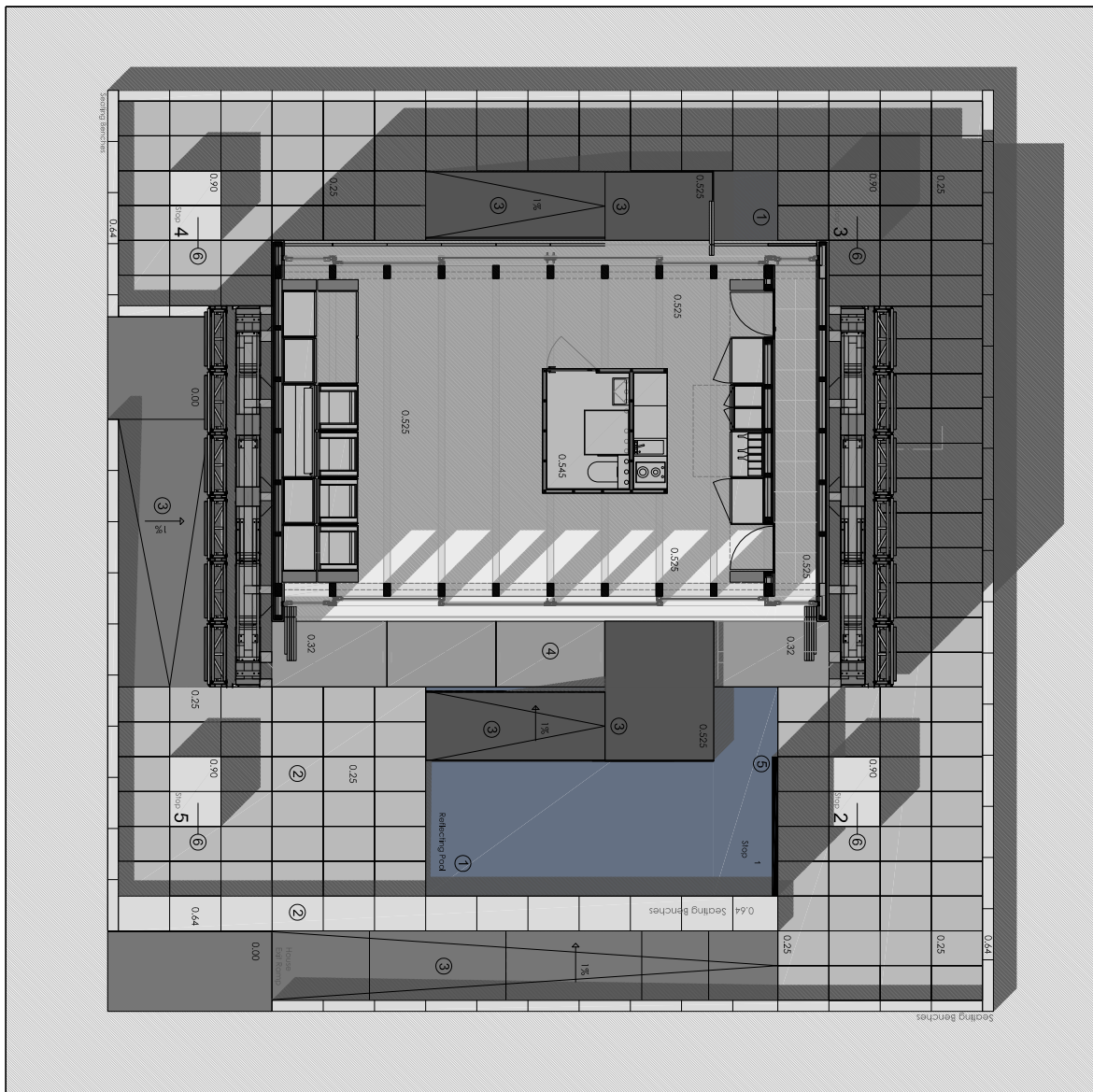


Figura 18 – Implantação do protótipo “CEM | SDE” no lote n° 10 da SDE.

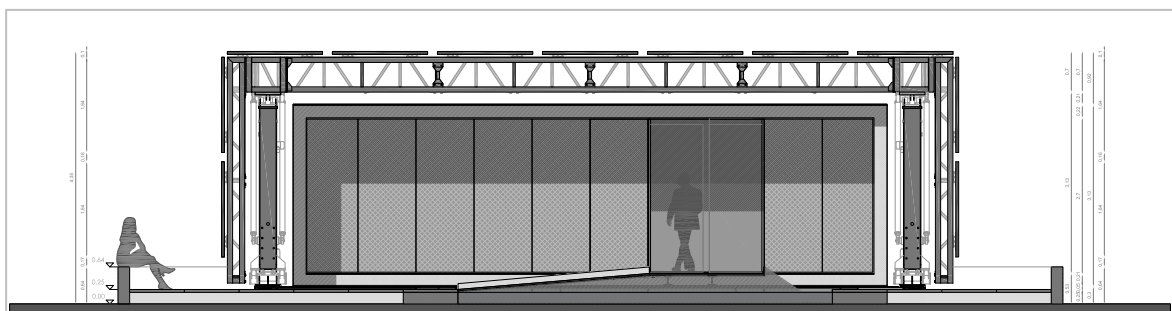


Figura 19 – Alçado Sul

## 5. CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

### 5.1. Fase 1 – Viana do Castelo, Zona industrial de Neiva

Quatro anos após o primeiro esboço daquele que viria a ser o projecto a representar Portugal e a Universidade do Porto na maior competição internacional de habitações sustentáveis – Solar Decathlon Europe – iniciou-se, em Agosto, a construção do protótipo das Casas em Movimento, em Viana do Castelo, com a colaboração dos parceiros Portilame, Carpintaria Rocha e Metaloviana e Martifer Solar.



Figura 23 – Fotos da construção do protótipo em Viana.

### 5.2. Fase 2 – Transporte do protótipo de Viana para Madrid

No dia 4 de Setembro, começou a desmontagem da Casa, que seria dividida em três partes, para ser transportada até Madrid em três camiões.



Figura 24 – Fotos carregamento das varias partes do protótipo, em Viana.

### 5.3. Fase 3 – Construção do protótipo em Madrid

O protótipo das Casas em Movimento foi construído em tempo record, apenas seis dias, a Casa ganhou forma no lote n.º 10 da Villa Solar.



Figura 24 – Fotos do início de construção do protótipo na Vila Solar em Madrid.

#### 5.4. Fase 4 – Abertura oficial do protótipo das casas em movimento

O primeiro protótipo do conceito “casas em movimento” foi construído em Setembro de 2012, representando a Universidade do Porto e Portugal no maior certame mundial de habitação sustentável, a Solar Decathlon, que decorreu, em Madrid.



5.4.1– a casa que representou Portugal foi foco de varias objetivas, de salientar Inhabitat.





Figura 22– Fotos do interior da habitação com iluminação natural.



Figura 23– Fotos do interior da habitação com iluminação artificial.

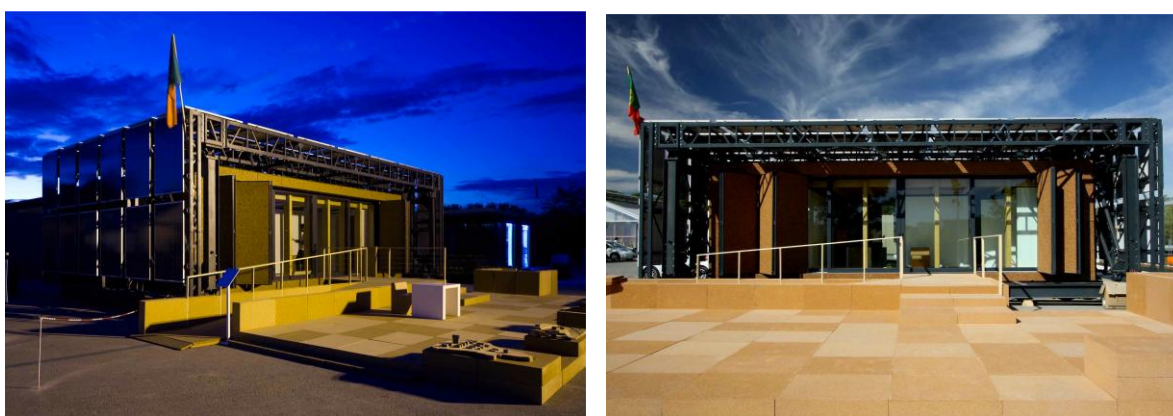


Figura 24– Fotos fachada Sul e Poente, com pala a 0° e fachada Sul com pala fechada, com pala a 0°.



Figura 25– Fotos fachada Norte, com pala a 0° e foto pormenor com pala a 25°.



## 5.5– Momentos marcantes no decorrer da exposição Solar Decathlon Europe

### 5.5.1 – Divulgação e promoção das Casas em Movimento

Para criar notoriedade e reconhecimento do projeto “Casas em Movimento”, nos contextos nacional e internacional, houve uma forte aposta na área da comunicação, num esforço continuado de promoção e divulgação, não só do projeto em si e dos valores que lhe são inerentes – a importância da sustentabilidade, da eficiência energética, da mobilidade, do equilíbrio ecológico – com abordagens diferentes adaptadas a cada público-alvo –, mas também da própria competição Solar Decathlon Europe (SDE).

Num momento inicial, a estratégia passou por divulgar o projeto, fundamentalmente, junto da comunidade académica da Universidade do Porto, procurando envolver alunos e professores de diferentes áreas e, por isso, com diferentes valias, para o projeto.



Simultaneamente à construção do protótipo das Casas em Movimento em Madrid, o mentor do projeto e alguns elementos da equipa CEM fizeram, ainda, uma espécie de digressão, em três carros eléctricos, por várias cidades portuguesas e espanholas, num esforço de divulgação e promoção do projeto e da Solar Decathlon Europe, junto de diferentes públicos.



Figura 26– partida assinala por cerimónia na Reitoria da U. Porto, seguida de apresentações consecutivas do projeto no Centro Cultural e de Congressos de Aveiro, na Camara municipal de Viseu, Centro de congressos da Guarda, Ayuntamiento de Ciudad Rodrigo, Patronato Municipal da Vivienda, em Salamanca, e por fim no Centro de Recepción de Visitantes de Ávila.

5.5.2 – Mesa redonda subordinada ao tema “A mutação dos espaços com vida, a mudança de paradigma”

Os inúmeros visitantes, entre os quais ilustres como a Ministra do Fomento de Espanha, Ana Pastor, Ministério da Arquitectura e Vivenda de Espanha, Secretário de Estado de Innovación, Javier Serra, embaixador de Portugal, Alvaro Mendonça Moura, o Arquitecto Souto Moura, que aí proferiu uma palestra e o relevo dado na imprensa Portuguesa e Internacional são provas inequívocas da recetividade desta proposta inovadora.



Figura 27 – Mesa redonda “A mutação dos espaços com vida: a mudança de paradigma”.



Figura 28 – Diferentes momentos com o arquiteto Souto Moura.

5.5.3 – Visita de varias individualidades nacionais e internacionais



Figura 29 – Visita do Ministério de Arquitectura, Vivienda e Javier Serra, Director da Solar Decathlon e Sub-director General de Innovación y Calidad de la Edificación de la Secretaría de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas, del Ministerio de Fomento e visita do embaixador de Portugal, Alvaro Mendonça Moura.

## 5.6 Fase 5 – Realização da Prova de Conceito do Movimento da Pala Fotovoltaica para o período de Inverno ( realizada em 29 e 30 de Setembro de 2012)

Neste dia demos apenas o primeiro passo.... na revolução do paradigma do habitar!



Figura 30 – movimentos da cobertura fotovoltaica, a efetuar ao longo do dia.

O movimento de rotação da pala fotovoltaica cria espaços vivos exteriores cobertos, desenhados pelo sol. (*FAUP – Manuel Vieira Lopes*)

No Inverno, o movimento da cobertura fotovoltaica permite que os raios solares incidam na fachada, climatizando o interior da habitação, o que se reflete num ganho térmico de 60 a 80%. (*LNEG – Laura Arenei*)

Este movimento da cobertura permite ainda um ganho de 23% na produção de energia elétrica. (*LNEG – Carlos Rodrigues*)

Este movimento consome por dia, apenas 1KW (menos que um ferro de engomar). – (*INEGI – Teixeira da Silva*)

## 6. PROXIMOS PASSOS – REALIZAÇÃO DAS DIFERENTES PROVAS DE CONCEITO

### 6.1 - UpGrade de Movimento da Pala fotovoltaica na Posição de Verão

### 6.2 – UpGrade de movimento de rotação da casa, com pala fotovoltaica fixa.



Figura 31 – sequência dos movimentos da casa

### 6.3 – UpGrade de movimentos de rotação combinados, entre casa e pala fotovoltaica.



Figura 32 – sequência dos movimentos combinados

## 6.4 - Internacionalização do conceito “casas em movimento”

### 6.4.1 - Construir uma “montra viva” em Portugal, o “PRIMEIRO ALDEAMENTO VIVO DO MUNDO”

**Projeto fase 2 – Portugal será uma Montra Viva** 

2. Construção de “Primeiro ECO HOTEL vivo do mundo”  
- Fase 2 (Turismo Inovação - candidatura QREN)

“MONTRA VIVA”

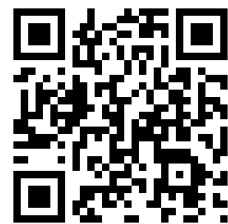
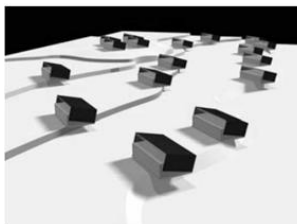
- ECO HOTEL
- RESTAURANTE
- MINI PRODUÇÃO
- Serviço rentcar (electric)
- SHOWROOM CEM



**Projeto fase 3 – Sítio com possibilidade de futura expansão** 

3. Construção de + módulos (habitação, comercio, serviços)  
- Fase 3 - Dá origem ao “primeiro aldeamento vivo do mundo”





Vamos mostrar ao mundo a tecnologia inovadora que cá se desenvolve e que pretendemos exportar, a partir de Portugal!

**Portugal será uma referência, uma “montra VIVA mundial”** 



... and this is not the end!

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda a equipa que acreditou no projeto desde o primeiro momento, mas principalmente aos resistentes, que permitiram uma grande vitória, construir o protótipo no maior evento de inovação sustentável do mundo.

Agradeço à Universidade do Porto e em especial à equipa de empresas que também participou na construção do primeiro protótipo: Metaloviana, Portilame, Martifer Solar, Carpintaria Rocha, Komerling e Saint Gobain e principalmente à equipa “cem+nem-“.

Um agradecimento especial aos ilustres arquitetos que me foram dando força com os seus comentários



«Esta casa é um monstro... de possibilidades... mas um monstro de que nós gostamos.»

«Esta casa é uma casa inteligente para pessoas inteligentes»

*Nuno Portas (Arquitecto e Urbanista)*



«Muito interessante como início de uma pesquisa, como criação de cidade... é um passo primeiro.»

«Considero qe este projeto ultrapassa o puro interesse académico e que deverá ser explorado numa prespetiva de mercado.»

*Álvaro de Siza Vieira (Arquitecto)*



«...eu acho que este projeto vai passar um período de grande entusiasmo, pois o mundo assim o pede!

« ...e somos os pioneiros ou este grupo é pioneiro!

«Esta é uma solução à Souto Moura»

*Eduardo Souto de Moura (Arquitecto)*

Este projeto foi totalmente financiado pelas casas em movimento, pelas empresas citadas, e pelos vários prémios conseguidos pelo seu autor.

As “Casas em Movimento” É um projecto de arquitectura viva e sustentável, que vem desafiar o atual paradigma da habitação à escala global, ao apresentar um novo conceito de casas que interagem e reagem com o utilizador, o meio ambiente e com as variações de luminosidade ao longo do dia, tal como um elemento vivo.

Apresentando dois movimentos combinados de rotação – movimento de rotação da própria casa e movimento de rotação da sua cobertura, revestida a painéis fotovoltaicos, as Casas em Movimento pretendem responder às necessidades energéticas e espaciais dos seus habitantes.

O conceito “casas em movimento” de autoria de Manuel Vieira Lopes nasceu no âmbito do projecto Lidera da Universidade do Porto, dando origem à “spin-off” casas em movimento, e foi estabelecido um protocolo de parceria com a Faup | Universidade do Porto.

Para o desenvolvimento do projecto e realização de estudos especializados foi criada a equipa “casas em movimento” coordenada pelo autor do projecto e constituída por entidades do sistema científico e tecnológico: - FAUP (projecto estruturas); - FEUP (projecto eléctrico e das avac); - LNEG (Estudos de Eficiência Energética); - INEGI (sistemas mecânicos de movimento de rotação da casa e da pala; - INESC Porto (sistema de automação e sensorização)

## Arquitetura, conceito e preconceito

Marta Brandão e Mário Rebelo de Sousa

*MIMA Housing*

info@mimahousing.pt

### SUMÁRIO

Aquando da sua publicação em Dezembro 2011, o projeto MIMA foi recebido de uma forma entusiasta e massiva. Ao longo do ano de 2012, o projeto MIMA marcou presença constante entre os mais importantes websites de arquitetura a nível mundial, ressurgindo com frequência nas categorias de “os mais vistos” ou “os mais populares”. O reconhecimento da qualidade do projeto entre a comunidade mundial de arquitetos oficializou-se em Março de 2012 pela conquista do prémio “Building of the Year 2011”.

### PALAVRAS-CHAVE: ARQUITETURA, PREFABRICAÇÃO, MODULOR, MIMA

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Entre o Sonho Modernista da fabricação em série e a Era da Customização Digital

*“Human housing is a matter of mass demand. Just as it no longer occurs to 90 percent of the population to have shoes made to measure but rather buy ready-made products that satisfy most individual requirements thanks to refined manufacturing methods, in the future the individual will be able to order from the warehouse the housing that capable of this, but the present-day building industry is still almost completely dependent on traditional, crafts-manly construction methods.”*

*Walter Gropius, “Wohnhaus-Industrie”, 1923*

Apesar da conotação depreciativa frequentemente conferida ao termo “pré-fabricado” (pela associação errónea a edifícios de parca qualidade), o conceito distancia-se desta definição superficial do senso comum e expande-se num léxico muito mais amplo e complexo, que oscila entre a construção de peças arquitetónicas num local distinto do da construção da obra e a tão aclamada cultura arquitectónica Moderna da pré-fabricação. A primeira remonta à Antiguidade, e aparece descrita em múltiplos testemunhos sobre a construção de edifícios; centenas de anos antes de se ouvir falar da teoria da prefabricação, partes substanciais dos edifícios eram produzidas em oficinas e fábricas antes de irem para o terreno. A segunda é um tema fundamental do Modernismo, nascido da união entre a arquitetura e a indústria, marcada pelo culto de uma imagem de estilos de vida modernos e a exploração de novos materiais e de novas técnicas.

Foi no século XIX, segundo descrito pelo historiador Gilbert Herbert<sup>1</sup>, que surgiram edifícios cujos componentes eram produzidos integralmente em fábrica e só depois assembled no terreno. Um desses exemplos é o célebre sistema de “balloon frame” em madeira americano, cuja invenção, segundo explica Siegfried Gideon (1888-1968), viabilizou o rápido crescimento de cidades americanas na proximidade de Chicago, na segunda metade do século XX. No seu conhecido livro “Space, Time and Architecture”, Gideon constrói um discurso quase mitológico em volta do sistema “balloon frame”: “its invention practically converted building in wood from a complicated craft, practiced by skilled labor into an industry” sublinhando que a estrutura de “balloon frame” foi usada na construção de sessenta a oitenta por cento das casas construídas nos Estados Unidos no final do século dezanove.

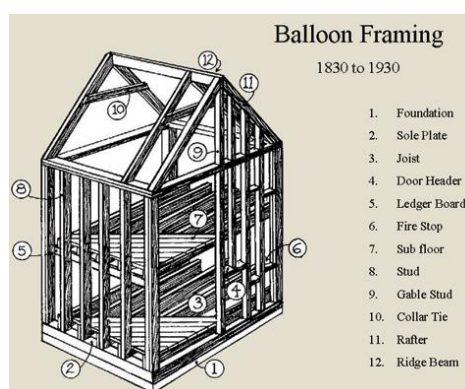


Figura 1 – Diagrama de ilustração do sistema de “Balloon frame”.

Conscientes do caminho por explorar no respeitante à experimentação de novos materiais e métodos para produção de casas durante os anos 20, os arquitetos Modernistas questionam-se sobre a relação forma-construção face às possibilidades de construção industrializada. O mesmo questionamento justifica, no início do século XX, a obsessão dos arquitetos Modernistas com o automóvel - na aparência, na inovação produtiva – enfatizada com o surgir da linha de montagem de Henry Ford em 1907. Mas a analogia entre o automóvel e a casa enquanto produtos de uma racionalização produtiva semelhante ganhou força sobretudo nos anos 20, tendo sido popularizada pelas famosas imagens de Le Corbusier, que propunha a resolução da crise da habitação através da produção em massa que, naquela altura, se aplicava à produção de automóveis<sup>2</sup>.

Repetidamente, os arquitetos do Movimento Moderno insistiam em questionar o facto de a produção em fábrica ter revolucionado a produção de vestuário, calçado, mobiliário, automóveis, aviões e, paradoxalmente, a cultura da construção continuar tão resistente a esta transformação, ou a tirar proveito da tecnologia emergente. Neste sentido, a escola Alemã Bauhaus (1919-33) tornou o conceito mais amplo e associou, numa mesma instituição, o desenvolvimento de produtos (sublinhando o termo “produtos”) de arquitetura, de design e de arte.

Atualmente, passados quase cem anos, a mesma questão continua a colocar-se no que respeita a arquitetura, tendo adquirido uma importância acrescida pelo rápido desenvolvimento da cultura digital paramétrica aplicada ao desenvolvimento da arquitetura, que vem estabelecer uma ligação direta entre o processo de desenho e o processo de fabrico (viabilizado sobretudo pelo sistema de corte em CNC).

<sup>1</sup> Herbert Gilbert, *Pioneers of Prefabrication : The British contribution in the Nineteenth Century*, 1978

<sup>2</sup> Le Corbusier, *Vers une Architecture*, 1923



Em alguns pontos do globo, no entanto, o sonho Modernista da pré-fabricação triunfou há já largas décadas, sendo que, a juntar ao exemplo dos Estados Unidos, a grande maioria de habitação que se constrói atualmente no Japão é pré-fabricada.

## 1.2. Arquitetura adaptada à categoria de “produto”

O movimento iniciado na Bauhaus teve um papel fundamental na democratização do design, sendo que, graças à contribuição desta escola, se tornou recorrente no século XX a aquisição de objetos do quotidiano desenhados por designers ou arquitetos de renome. Simultaneamente, o seu mentor Walter Gropius (1883-1969) mantinha uma determinação semelhante à de Le Corbusier (1887-1965) no que respeitava a aplicação do mesmo conceito à arquitetura. A sua prioridade era, no entanto, preservar o papel do arquiteto enquanto artista.

Nos tempos que correm, o posicionamento dos arquitetos dentro da sua própria disciplina é paradoxal e antagónico; por um lado, o avanço das tecnologias CAD viabiliza o desenho e cálculo construtivo de volumes e espacialidades originais e complexas (a total liberdade para criar todo o tipo de formas) e agilidade de produção industrial; por outro lado, as duras restrições inerentes às condições de crise económica. Antoine Picon é uma figura de destaque na bibliografia que ilustra este tema, sendo que reflete exhaustivamente sobre os efeitos da era digital na arquitetura em diversas obras e artigos<sup>3</sup>. Também a nível estilístico, a linguagem arquitetónica atravessa atualmente momentos de indefinição. Remotos parecem estar já os claros princípios e linguagens do Movimento Moderno, tendo estes dado lugar a uma certa anarquia estilística em que cada arquiteto busca uma linguagem individual reconhecível, edificada sobre uma base de referências pessoais.

Mas se por um lado o contexto de crise económica implica limitação de construção, por outro lado constitui uma oportunidade de reinvenção. As experiências de fabricação em série de arquitetura, ao longo do século XX, foram despoletadas em contextos de pós-guerra, em que era necessário produzir depressa, em grandes quantidades, com poucos recursos e, ainda assim, salvaguardando a qualidade arquitetónica.

Se não existisse indústria ou os modos de produção serial, rápida e sistematizada, a situação nessas épocas teria seguramente tido um dramatismo acrescido.

Simultaneamente, num contexto atual de culto e valorização de produtos de design, parece mais do que nunca tornar-se pertinente o questionamento de uma democratização da arquitetura de qualidade, de renome. Se tomarmos como exemplo a famosa marca de mobiliário de luxo alemã VITRA, verificamos que o seu sucesso adveio da reprodução, com elevados standards de qualidade, de mobiliário desenhado por reconhecidos arquitetos e designers desde o início do século XX. O seu prestígio alcançou tão grandes proporções que hoje, quem adquire uma peça de mobiliário VITRA vê nela uma obra de arte. O que é certo é que, em antiquários ou em mercados em segunda mão, as peças mantêm o valor de venda, ou em certos casos o seu custo torna-se mesmo superior ao inicial. Será tão inviável a adaptação deste conceito à arquitetura, na produção de “produtos de arquitetura”, de “obras de arte de arquitetura” que possam ser produzidos em série para poderem depois ser adquiridos de uma forma simplificada e acessível?

Nos Estados Unidos, uma secção recorrente nas livrarias convencionais é reservada à venda de catálogos de casas pré-fabricadas. A oferta de modelos é inesgotável e qualquer pessoa pode usar as referências da casa que elege para encomendar a sua própria casa e obtê-la de uma forma rápida e simples.

---

3 Picon Antoine, *Digital Culture in Architecture*, 2010

Em busca de um caminho coerente para posicionamento desta ideia, optámos por partir de um contexto de tabula rasa. A noção de “conceito”, fundamental nesta construção, aproxima-se, de algum modo, da formulada na produção artística; o conceito ultrapassa largamente a simples aceção de “ideia”, estando ao invés associada à formulação de regras para a própria arquitetura. Assim, será “boa arquitetura” toda a produção que resultar da coerência com as formulações pré-estabelecidas pelo próprio autor.

## **2. A CASA MIMA**

### **2.1. O despoletar de uma ideia**

O projeto MIMA começou a ganhar forma em 2007, tendo tido origem no exercício de resposta à questão “que soluções (alternativas) poderão existir para a arquitetura atual?”. A consciência de que a maioria da população não dispõe de meios para adquirir arquitetura de habitação (de construção tradicional) impulsionou a procura por uma solução capaz de, por um lado, simplificar os processos da arquitetura tradicional que a tornam complicada e inacessível e, por outro, incorporar todas as características e atributos que viabilizam e conferem a qualidade arquitetónica e espacial a uma obra.

A construção de uma ideia de arquitetura segue um método que em pouco se diferencia do processo conceptual de uma obra de arte. Implica a (des)construção de um conjunto de ideias e a composição de um conjunto de regras que, juntas, constituem o universo dentro do qual a obra se insere, se desenvolve.

### **2.2. A sistematização projetual e construtiva**

A conceção arquitetónica, enquanto composição de um novo universo, desenvolve as suas próprias regras e critérios nitidamente estabelecidos, bem como lógicas internas que interagem na criação do novo objeto, da nova espacialidade. O nível de qualidade de uma obra de arquitetura depende diretamente do grau de coerência com esse universo criativo. No caso da MIMA, a criação deste universo lógico - a matriz que regula a dimensão de todas as peças e compartimentos internos - obedeceu simultaneamente a 3 critérios:

- a repetição, enquanto antevisão de um processo de sistematização produtiva;
- o conforto, pelo compromisso entre a dimensão dos elementos e a dimensão do utilizador (na linha de pensamento do modutor de Le Corbusier);
- as peças, enquanto elementos de um sistema de software interativo (desenvolvido em simultâneo com o projeto, para viabilizar a autonomia deste).

O conceito de sistematização implicou a definição de uma matriz interna. Foram múltiplas as dimensões testadas para a unidade-base (a peça que se multiplica para produzir novas espacialidades) e as diversas hipóteses convergiram na escolha de uma medida padrão de 1,5m por 1,5m. Este demonstrou ser o coeficiente mais eficaz na produção de espaços com dimensões coerentes, adaptáveis tanto à dimensão mínima da casa como a dimensões superiores. No módulo de menor dimensão, como pode observar-se nas imagens, a forma como as peças de 1,5m por 1,5m se distribuem permite um equilíbrio interessante entre as proporções das diferentes divisões da casa. Metade de um 1,5m permite-nos a obtenção de uma largura de porta. Um único módulo define a área de uma casa de banho de serviço. Dois módulos permitem a integração de uma casa de banho completa. Dois módulos

constituem também a área necessária para integração de uma cozinha com equipamento completo adaptado a uma habitação deste tamanho. Se mais uma vez multiplicarmos o número de módulos, obtemos o tamanho de um quarto ( $9\text{m}^2$ , a dimensão mínima prevista para a um quarto). Finalmente, o dobro desta área ( $18\text{m}^2$ ) define a dimensão do espaço de estar da casa.

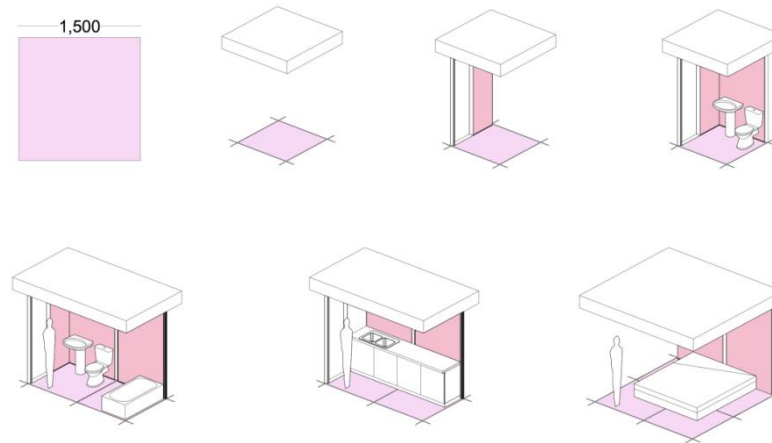


Figura 2 – Divisões internas definidas a partir da unidade base 1,5 m por 1,5 m.

### 2.3. A definição de uma plataforma digital de gestão de arquitetura

O conceito de matriz acima referido, ultrapassa as funções de standardização das dimensões dos componentes e as de determinação das possíveis áreas de cada divisão. Na verdade, a matriz é fisicamente assumida no interior da habitação e torna-se parte integrante da casa, possibilitando parte do seu carácter de ‘casa flexível’. A grelha de 1,5m por 1,5m é materializada no interior da casa, num sistema de calhas metálicas onde é possível encaixar paredes e retirá-las sempre que desejado. Neste sentido, o interior da casa assemelha-se a um sistema vivo cuja espacialidade é possível de se alterar com facilidade, dada leveza dos componentes. A nível estrutural, o interior do módulo-base MIMA consiste num sistema simples de pilar e viga, em que os elementos estruturais são localizados nas extremidades e a planta é livre, sendo que a adição ou movimentação de paredes fica em aberto (como explicado em cima).

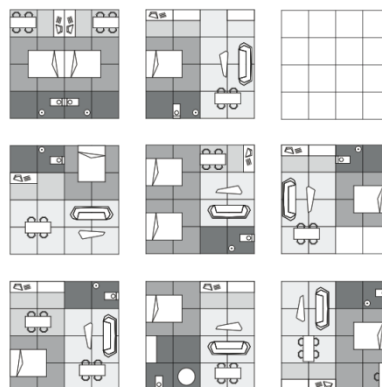


Figura 3 – Diversidade de opções de layout dentro de um módulo-base MIMA.

Nas casas MIMA, o conceito de flexibilidade funde-se com uma das ideias-base de formulação do projeto: o conceito de customização/personalização. Partindo da definição de qualidade arquitetónica associada à possibilidade de personalização, foram desenvolvidos, em simultâneo, o projeto de arquitetura e um software informático que consiste na tradução de um determinado “tratado de arquitetura” (o tratado que define todas as regras de criação de uma casa Mima, com a necessária coerência com as regras pré-estabelecidas). O software foi desenvolvido com uma tecnologia “Papervision” e é inovador pelo facto de se permitir construir/trabalhar elementos tridimensionais online (sendo que o normal seria que fosse requerido o download de um programa para este mesmo efeito). Mais do que um tratado de arquitetura, esse software constitui uma ferramenta fundamental na materialização da intenção inicial: a de “democratizar” o acesso à arquitetura.

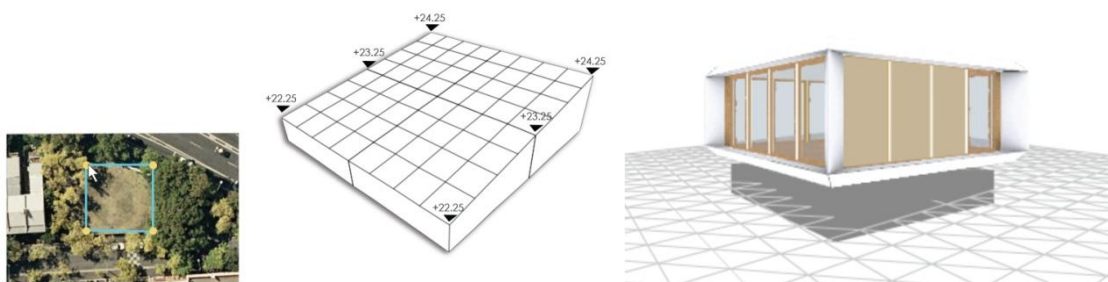


Figura 4 – Imagens da plataforma de personalização online da MIMA.

A plataforma de elaboração de projetos, disponível online, visa incorporar parte do papel do arquiteto enquanto coordenador do projeto, permitindo que os futuros habitantes decidam sobre os aspetos fundamentais da sua futura habitação (dimensões, distribuição das divisões no interior da casa, acabamentos interiores, aspeto de fachadas, número de aberturas e paredes fechadas, etc.). A plataforma identifica o terreno de acordo com as coordenadas de localização introduzidas na plataforma google maps e produz um modelo 3D automático do terreno, bem como da sua orientação solar, permitindo que a casa seja testada com realismo no contexto ao qual se destina.

Simultaneamente, esta plataforma permite simular a versatilidade e flexibilidade da casa MIMA uma vez construída.

É importante salientar que o objetivo deste software não é o de substituir a função do arquiteto (as regras e o projeto original não se alteram nas suas qualidades fundamentais), mas sim, de uma forma controlada e simples, oferecer a oportunidade às pessoas de intervirem no processo e decidirem sobre uma parte importante do projeto da sua futura casa. No final do processo, o mesmo software apresenta um resultado automático de orçamentação com base nos dados introduzidos.

#### 2.4. A referência das casas vernaculares japonesas

*“Already in my early beginnings as an architect, I was greatly intrigued and attracted by the Japanese house. Its lightness, its flexibility and pleasing lines impressed me deeply. The restrained order of its standardized building parts appealed to me as the hallmark of a deeply rooted culture adaptable to any new development. The elements for today’s industrial prefabrication seem to be inherent in this ancient modular conception, which simultaneously left freedom for a great variety of compositions, avoiding monotony.*”

*I consider it a challenging task for the new generation of Japanese Architects to find the fitting links between that flexible, traditional concept of the old craft periods and the new development of an industrial base. With keenest interest I will watch the architectural contributions to come from my Japanese colleagues."*

*Walter Gropius, 1923*

O reconhecimento da qualidade construtiva, conceptual e espacial das casas japonesas nada tem de novidade, sendo que estas foram uma referência constante para os arquitetos Modernistas (e talvez daí venham os grandes vãos, os espaços amplos e flexíveis descritos nos "Princípios da Arquitetura Moderna"). As casas tradicionais japonesas são integralmente construídas em madeira. Têm uma estrutura simples de pilar e viga, sendo que todos os elementos de fachada são flexíveis, possíveis de deslizar para permitir uma ligação direta ao exterior, de conectar dois espaços distintos na criação de espaços de maiores dimensões; todos estes elementos são também possíveis de serem substituídos.



Figura 5 – Interior de casa vernacular japonesa.

A nível de métrica, a casa obedece fundamentalmente à modulação dada pelas peças de chão – os tatami. Apesar de o tamanho dos tatami variar em diferentes cidades do Japão, as suas dimensões mais comuns são: 0.955m por 1.91m. Lembrando Le Corbusier enquanto admirador confesso da arquitetura Japonesa, é possível que os diagramas dimensionais produzidos com o “modulor” tenham sido parcialmente inspiradas pelas dimensões dos tatami (também estes baseados nas dimensões humanas).

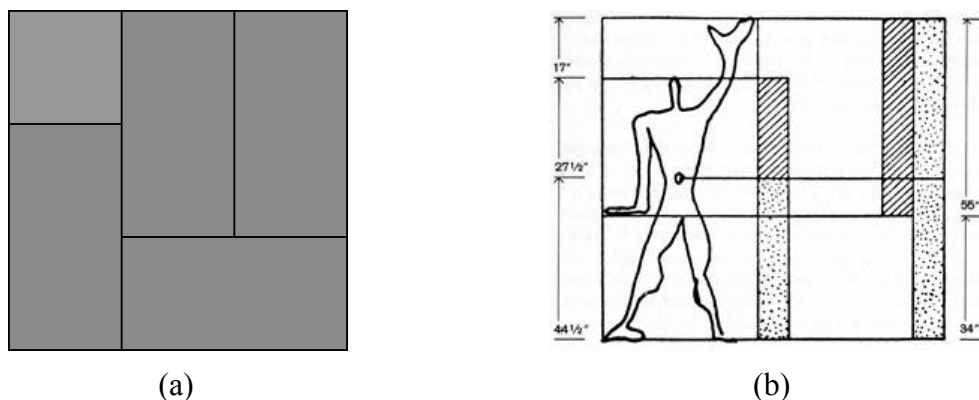


Figura 6 – (a) Possível organização dos *tatami* no interior de uma habitação; (b) Le Corbusier, Modulor; Interior de casa vernacular japonesa.

Além dos *Tatami* enquanto peças de chão, a casa japonesa contempla também as peças verticais como o *Shoji* (uma porta/painel de correr transparente) ou o *Fusuma* (uma porta de correr revestida a papel), enquanto elementos de dimensão fixa. Estes elementos são fabricados em grandes quantidades em fábricas no Japão, sendo vistas como peças flexíveis que se substituem facilmente no caso de se danificarem.

Pelas suas qualidades de modernidade – apesar de já serem construídas de acordo com estes mesmos princípios há centenas de anos – estas casas constituíram uma inspiração inegável para arquitetos do Modernismo como Frank Lloyd Wright ou Le Corbusier, tendo enfatizado a produção de espaços amplos, depurados, flexíveis.

Além destas qualidades, as casas vernaculares japonesas constituem um paradigma implícito de pré-fabricação, pela construção da maioria dos seus componentes em fábrica. Este aspeto explica também o grande fascínio dos arquitetos do Modernismo pela arquitetura Japonesa.

Na conceção da casa MIMA, a arquitetura vernacular japonesa constituiu uma referência central por múltiplos motivos: a qualidade espacial inegável, o conforto, a flexibilidade aliada à mutabilidade, a sustentabilidade (pelos métodos construtivos) a pré-fabricação e sobretudo o seu carácter de referência histórica, resistente ao tempo, detentora de uma inigualável contemporaneidade.

## 2.5. A casa MIMA e o conceito de flexibilidade

A questão da flexibilidade é enfatizada pelo modo como as paredes - constituídas por uma estrutura leve de base em alumínio e por painéis de contraplacado em cada um dos lados – podem ver o seu aspeto alterado num processo simples de rotação de painéis ou substituição dos mesmos.



Figura 7 – A flexibilidade das paredes internas da MIMA – posição e material.

Também as fachadas podem ser alteradas. A composição-base da casa contempla fachadas totalmente envidraçadas em todo o perímetro, às quais, caixilho a caixilho, podem ser adicionados painéis de aplicação semelhante aos das paredes interiores, mas com uma resistência e durabilidade adaptadas à exposição exterior. Neste sentido, a casa adquire versatilidade no que concerne o aproveitamento de questões climáticas. Assim sendo, os painéis podem ser retirados para aproveitamento do sol e aquecimento da casa durante o inverno, da mesma forma que podem ser adicionados de modo a evitar o sobreaquecimento da casa durante os meses mais quentes.



Figura 8 – A flexibilidade das paredes externas da MIMA.

### 3. A CASA MIMA E A BUSCA DE UMA SÍNTESE IMAGÉTICA

*“We architecture fans get a poor look-in when modern architecture is being discussed. All too quickly, the discussion becomes a tussle between producers and consumers: the producers – architects – make high-level utterances meant only to be understood by other architects, and occasionally condescend to issue broad-sheets and primers to the hoi-polloi; the later write one another resentful newspaper articles about the horrors of modern architecture<sup>4</sup>.”*

*Reyner Banham, Guide to Modern Architecture, 1962*

O conceito da casa MIMA visa, desde o início, o seu direcionamento a um público diverso e o despertar de interesse num universo tão amplo quanto possível.

Raymond Loewy (1893-1986), conhecido como “pai” do design industrial, usou uma afirmação fundamental sua como título de uma das suas obras: *“La laideur se vend mal”*. A verdade é que desde então a noção de estética, de beleza, tem invadido todos os produtos que nos preenchem o quotidiano, sendo muitas vezes este o factor que desperta o interesse primeiro para a sua aquisição.

Um fenómeno semelhante tem-se verificado em diversos objetos de design produzidos atualmente, e presentes de uma forma tão intrínseca no quotidiano da população mundial. Quase todos esses objetos têm como característica comum a simplicidade e depuramento formal do design em simbiose perfeita com a sua funcionalidade, sendo que através destes atributos, estes objetos conseguem alcançar uma apreciação global, positiva e desejada. Estes objetos acabam também por ser participativos na construção de uma imagem individual - sendo que com frequência viabilizam a ênfase de uma imagem pessoal de sofisticação.

Também a casa, no seu aspeto, nos elementos que a compõem, revela muito sobre as pessoas que nela habitam. Ao mesmo tempo, e tendo em conta a complexidade do programa de habitação por si próprio, importa que o depuramento formal seja equilibrado com um material que imprima conforto ao objeto arquitetónico e que torne atrativa não apenas a imagem exterior, mas também a vida no seu interior.

A casa MIMA busca uma imagem posicionada entre a tradição e a modernidade, uma busca de qualidades vernaculares, enraizadas, como aquelas que a dupla de arquitetos ingleses Alison e Peter Smithson procuravam para materialização dos seus projetos nos anos 70 (tendo como paradigma a “vulgaridade complexa” da casa de férias do casal em Upper Lawn).

---

<sup>4</sup> Banham, Reyner, *Guide for Modern Architecture*, 1962



Figura 9 – Vista exterior de uma casa MIMA.

No projeto da MIMA, se por um lado se pretende materializar os atributos que com mais frequência se associam à noção de conforto – o uso da madeira, a luminosidade, a simplicidade, os espaços amplos – por outro, visa-se a construção de uma imagem capaz de marcar a contemporaneidade e de ser reconhecível; de adquirir um carácter icónico, de sublinhar a identidade da marca, a especificidade da casa enquanto produto. No que concerne a parte da casa que se inspira num conceito simultâneo de conforto e flexibilidade, a referência fundamental são as casas tradicionais japonesas.

#### 4. CONCLUSÃO

Aquando da sua publicação em Dezembro 2011, o projeto MIMA foi recebido de uma forma entusiasta e massiva. Ao longo do ano de 2012, o projeto MIMA marcou presença constante entre os mais importantes websites de arquitetura a nível mundial, ressurgindo com frequência nas categorias de “os mais vistos” ou “os mais populares”. O reconhecimento da qualidade do projeto entre a comunidade mundial de arquitetos oficializou-se em Março de 2012 pela conquista do prémio “Building of the Year 2011”. Este reconhecimento veio confirmar que a linha conceptual e imagética que determinou o desenvolvimento do projeto parece responder, de facto, à qualidade e coerência ambicionadas.

Do mesmo modo, a simples ideia de possibilidade de aquisição de uma casa “de arquiteto” inspirou a escrita de numerosos artigos entre jornais e revistas generalistas. Desde a publicação das primeiras palavras sobre o projeto até ao presente, foram mais de 40’000 os contactos via email, de pessoas interessadas em adquirir a casa. Mais interessante que falar de números é, no entanto, constatar a diversidade do público que se interessa pelo projeto. Os contactos foram provenientes de todos os pontos do globo, das mais distintas culturas, as idades variavam de uma forma equilibrada entre jovens, meia-idade, idades mais avançadas; os propósitos era múltiplos, desde a habitação unifamiliar, a alojamento de férias, turismo e múltiplos outros usos que nem tinham sido previstos no esquema inicial. Mais uma vez, um dos conceitos definidos entre os objetivos iniciais - a criação de uma síntese imagética global - detentora de universalidade na sua configuração segundo os princípios fundamentais definidos por Max Bill (1908-94): “forma, função, beleza e gestalt”.

A MIMA provou, e continua a provar, ser a materialização de uma imagem universalmente sedutora e de personificar as qualidades universais que se procuram na arquitetura de habitação.



## **Casa de Adropeixe – Uma casa quase de madeira**

Carlos Castanheira

*Carlos Castanheira e Clara Bastai, Arqtos Lda.*  
geral@carloscastanheira.pt

### **SUMÁRIO**

A ideia está no sítio, foi dito, afirmado, escrito e é verdade. Não só a ideia como o nome advêm do sítio. O local é único e única teria que ser a resposta à encomenda, específica - uma Casa de Madeira.

### **PALAVRAS-CHAVE: SÍTIO, ADROPEIXE, CASA, MADEIRA**

#### **1. A CASA DE ADROPEIXE**

Adropeixe, quase parece um nome saído de um livro do Ásterix, é um local do Parque Natural do Gerês, da freguesia de Vilar da Veiga e concelho de Terras de Bouro. Fica ali mesmo à borda de água (Figura 1) depois de passar as pontes e pouco antes de chegar ao Gerês, às Termas. Mais fácil chegar de barco do que por terra ou monte, o local é único e única teria que ser a resposta à encomenda, específica; uma casa de Madeira.

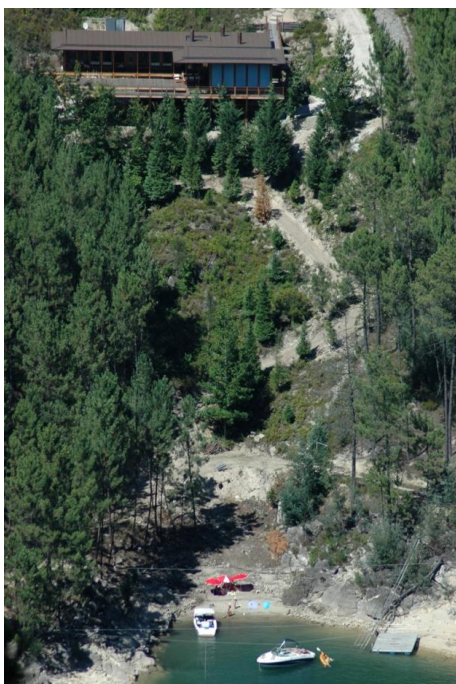


Figura 1 – Relação da casa com o rio.

A existência do campo de ténis (Figura 2), com 800m<sup>2</sup> de impermeabilização de solo, permitiu a construção de uma habitação com menos de 200m<sup>2</sup>, máximo permitido e quando possível, pelos regulamentos em vigor.

Para lá chegar é necessário subir o monte, percorrer estrada sinuosa em alcatrão, sempre a subir e, chegando quase ao cimo, descer e descer por caminho de terra batida, sinuoso à beira de precipício e vista deslumbrante.

A vegetação é densa luxuriante apesar de se ainda sentirem algumas marcas de um fogo que andou por ali há já alguns anos. O campo, ou laje de betão pintada de verde com umas riscas brancas e que serviu para bater umas bolas, era a única plataforma plana de todo o terreno com 14.500m<sup>2</sup>. Encravado no monte, a natureza foi-se adaptando a este elemento. O campo de ténis já se encontrava dentro do bosque aquando da primeira visita ao local.

À chegada, por cima, pelo caminho, a vista é deslumbrante, magnífica, abrangendo a parte da albufeira mais calma, e por pouco não se vêem as pontes.

No campo ou plataforma, a vista é interior, pois a vegetação, densa não permite olhares panorâmicos.



Figura 2 – Campo de ténis existente.

Encravado no monte, a natureza foi-se adaptando a este elemento. O campo de ténis já se encontrava dentro do bosque aquando da primeira visita ao local.

À chegada, por cima, pelo caminho, a vista é deslumbrante, magnífica, abrangendo a parte da albufeira mais calma, e por pouco não se vêem as pontes.

No campo ou plataforma, a vista é interior, pois a vegetação, densa não permite olhares panorâmicos. A ideia, óbvia, estava ali.

A chegada por cima, a elevação do volume da habitação da cota da plataforma de modo que o prazer de alcance de vista estivesse sempre presente, utilização da área, plana, da plataforma, para apoio e circulação.

Ao chegar ao terreno desde o penedo existente, o acesso faz-se por uma ponte localizada à cota da cobertura (Figura 3). Descendo tem-se acesso à entrada, principal embora pouco usada no dia-a-dia (Figura 4).



Figura 3 – Ponte de acesso pedonal pela cota da cobertura.



Figura 4 – Acesso automóvel pela cota inferior e escada de acesso à entrada.



Figura 5 – Vista exterior.

A organização interna é simples: na entrada nasce um corredor que permite o acesso à sala e cozinha e, a uma cota um pouco mais alta a três quartos e banhos (Figuras 6,7, e 8).

Da sala tem-se acesso a um grande terraço exterior, aquilo a que agora se chama um deck. Desde os quartos é possível o acesso a uma varanda, que pela diferença de cota se diferencia do terraço apesar de nele estar inserida.

Uma circulação exterior e periférica, a uma cota inferior, permite que a guarda, necessária, não prejudique o gozo da paisagem.

A casa, ou o volume habitável, está elevado do solo por cinquenta e dois pilares de madeira, num emaranhado ordenado e construtivo.

O mesmo emaranhado, ou lógica, é desenvolvido nas estruturas de lajes, paredes e escadas. Quase tudo ficou à vista, mesmo quando coberto por isolamentos térmicos ou impermeabilizantes. No interior a estrutura é à vista e é sentida, vivida.



Figura 6 – Entrada /circulação.



Figura 7 – Sala de estar.



Figura 8 – Fogão de sala, cozinha e sala de jantar.

Sapatas de betão, o único utilizado nesta obra. Ligações em ferro. Estrutura, pavimentos interiores e tectos em madeira de casquinha vermelha, os exteriores em madeira cumaru. Revestimentos exteriores, paredes e cobertura em cobre. Vidro nas caixilharias de madeira. Tubos, fixações em cobre e rede em fio de polipropileno, funcionam como guardas.

A Casa de Adpropeixe é um mirante habitável, elevado do solo mas ligado ao local e neste inserido. O terreno, a área, o Parque, desde que se iniciou a construção da casa, está melhor, não só pela casa, mas pela necessária vivência que esta implicou, implica e implicará. Está mais limpo o monte, foram criadas reservas de água, plantadas árvores, melhorados caminhos, humanizada a natureza, a arquitectura deu uma ajuda.

## 2. DESENHOS TÉCNICOS

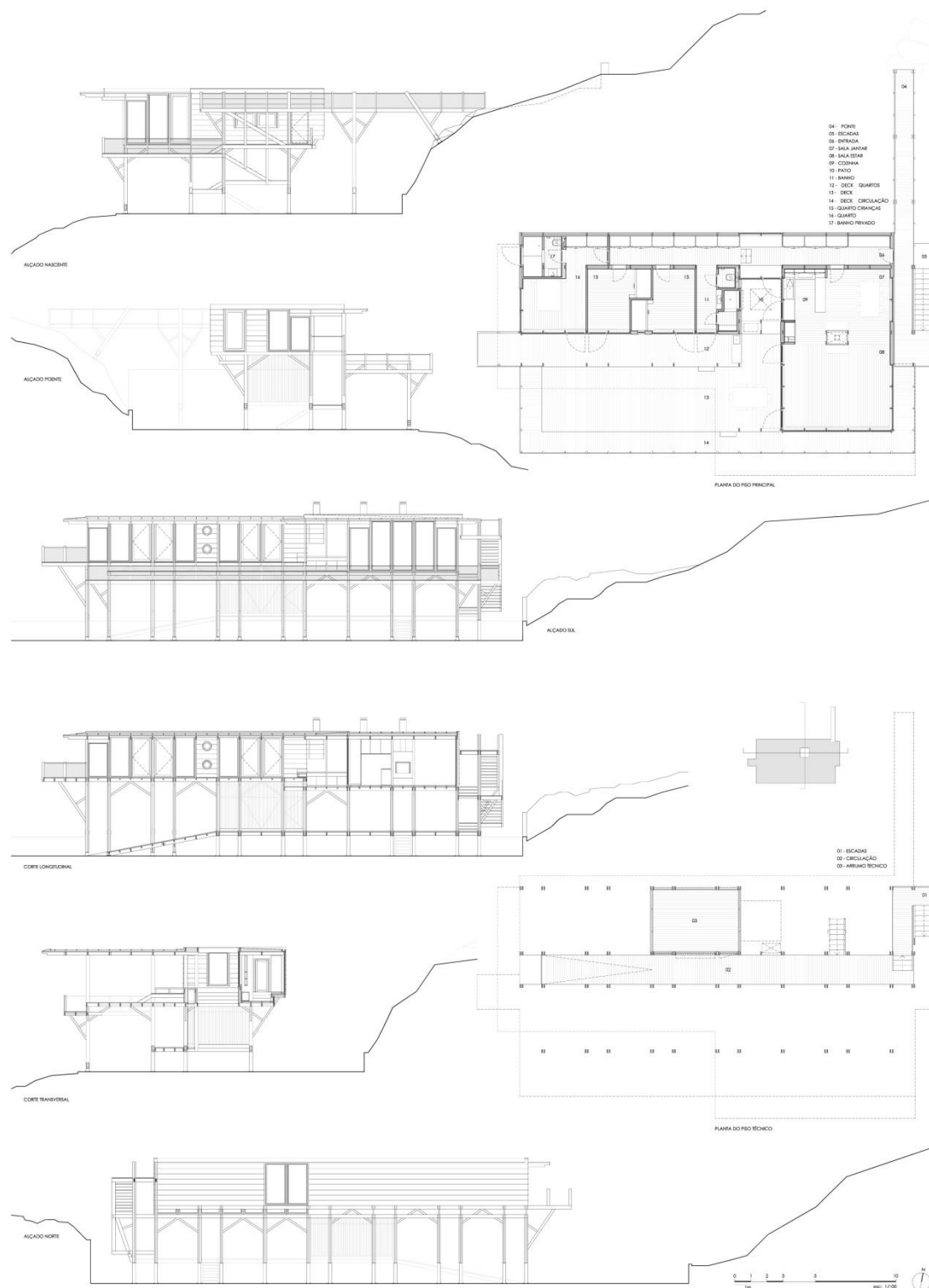


Figura 9 – Plantas, cortes e alçados.

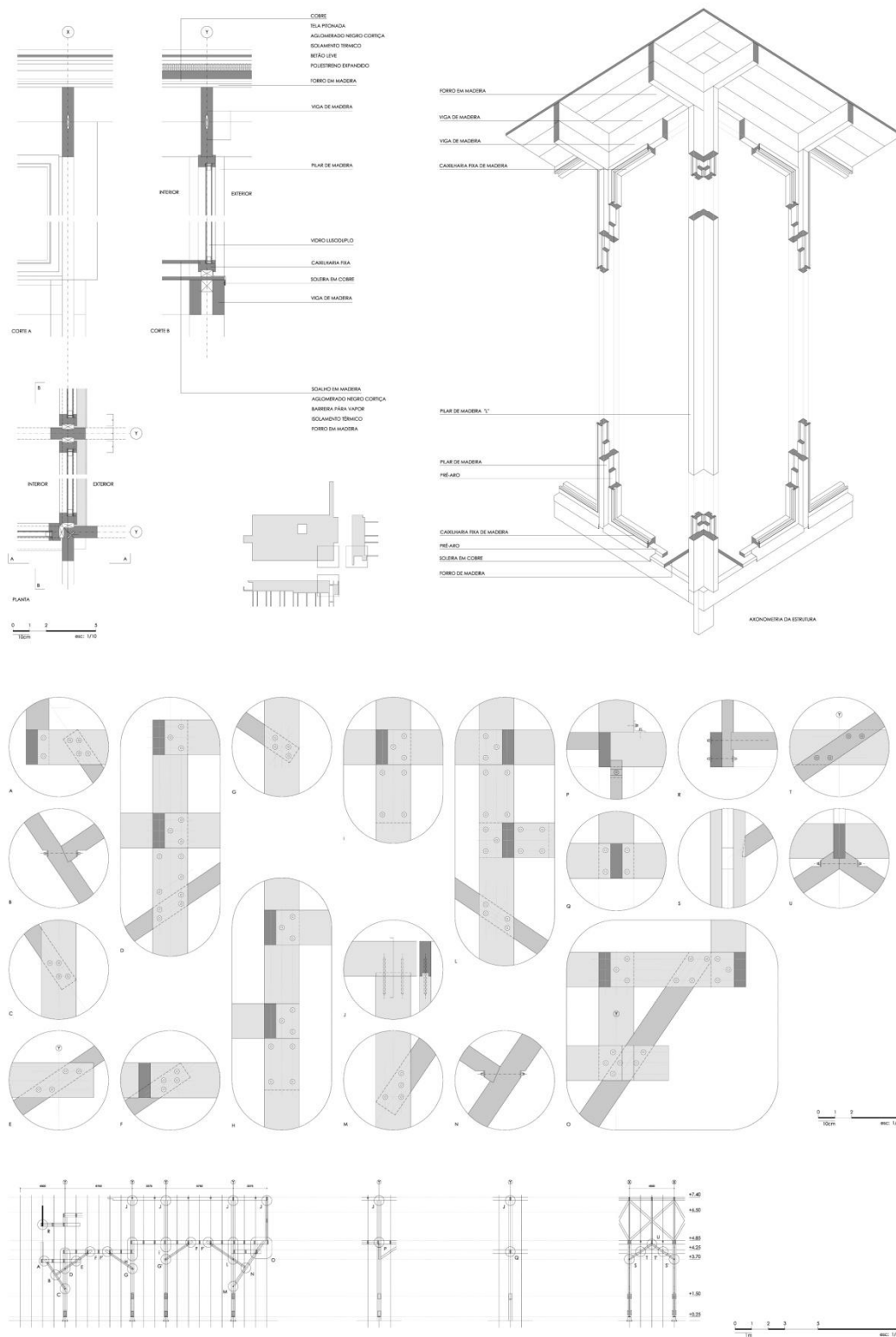


Figura 10 – Pormenores construtivos.



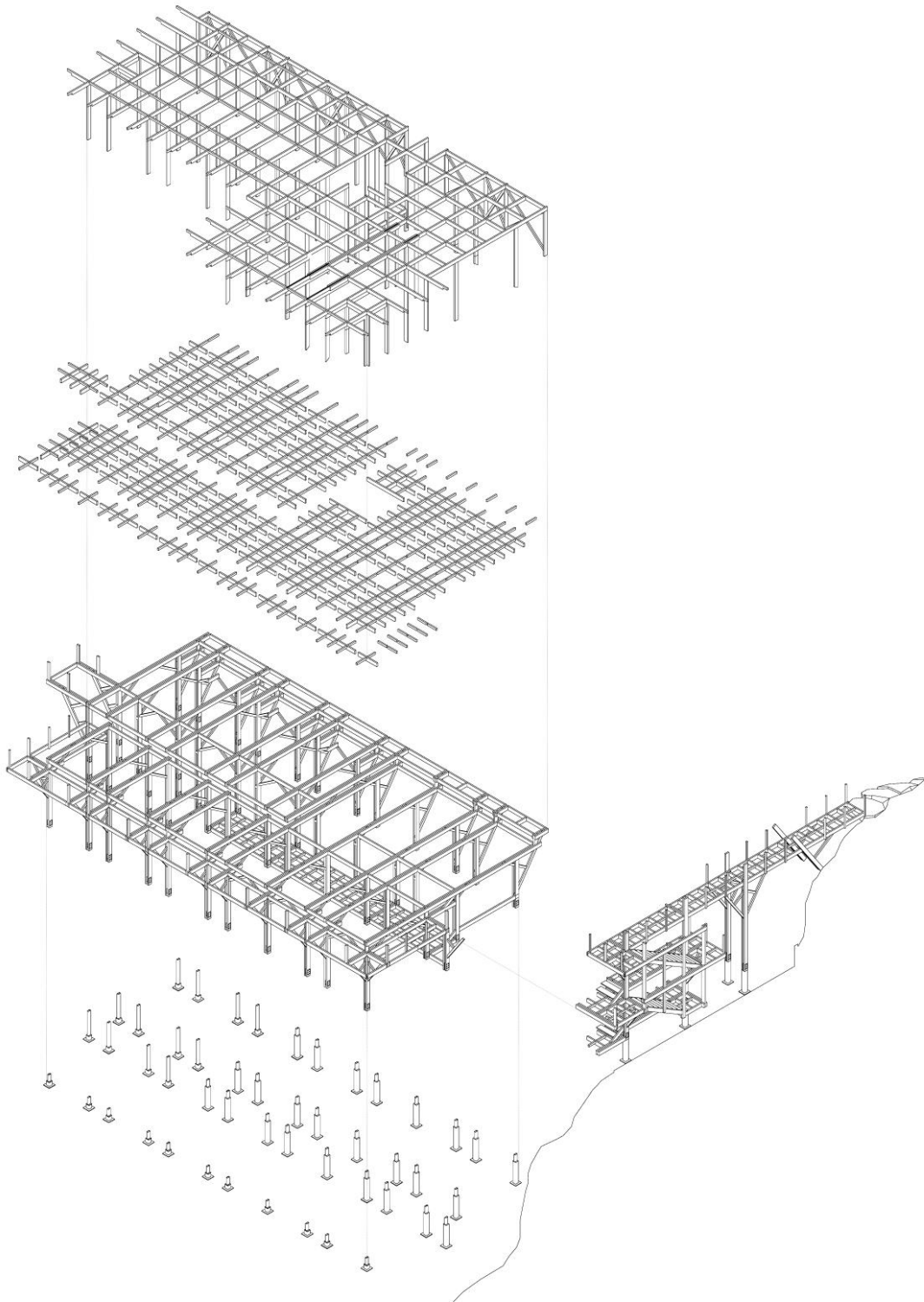


Figura 11 – Axonometria da estrutura.

**Ficha técnica**

<b>Cliente:</b>	Tiago Sousa Lopes
<b>Local:</b>	Lugar da Costa da Barca Vilar da Veiga - Terras de Bouro Gerês - Portugal
<b>Data de Projecto:</b>	2005 – 2008
<b>Área da Propriedade:</b>	18.700 m <sup>2</sup>
<b>Área de Construção:</b>	190 m <sup>2</sup>
<b>Proj. Arquitectura:</b>	Carlos Castanheira, Arqtº. Carlos Castanheira e Clara Bastai, Arqtos Lda.
<b>Colaboração:</b>	Pedro Carvalho João Figueiredo (3D)
<b>Proj. Engenharia:</b>	HDP, Gabinete de serviços e proj. de engenharia civil, Lda. CONCILIARUM, Projectos e soluções de engenharia, Lda.
<b>Construção:</b>	Carpicunha madeiras Lda.
<b>Revestimentos e Funelarias:</b>	ASA, Antonio Sousa Alves Lda.
<b>Metalurgia:</b>	Val e Quintão Lda.
<b>Betão:</b>	Imobiliaria CMCJC Lda.
<b>Vidro:</b>	Lusoduplo lda
<b>Exteriores:</b>	Domingos Príncipe
<b>Electricidade:</b>	Electrilouro Lda.
<b>Ar Condicionado:</b>	Oliveira e Araújo Lda.
<b>Domótica:</b>	Enancer Electronica Sa.
<b>Pichelaria:</b>	Branco Pichelaria
<b>Fotografia:</b>	Fernando Guerra – FG +SG – Fotografia de Arquitectura