

O IMPULSO NA CONSTRUÇÃO EM MADEIRA – NOVOS PRODUTOS E DESEMPENHO ADEQUADO



José Saporiti Machado
 Investigador Auxiliar /
 Chefe do Núcleo de
 Qualidade na Construção
 LNEC, Lisboa
 saporiti@lnec.pt



Artur Feio
 Professor Auxiliar
 Universidade Lusíada
 V. N. Famalicão
 artur.feio@ulusiada.pt

SUMÁRIO

A inovação registada na última década, no campo dos produtos de madeira para a construção, tem vindo a alterar a visão das potencialidades da madeira como elemento estrutural, sustentando um renascimento do seu uso como material estrutural. O CLT tem vindo a permitir o ressurgimento de forma expressiva da construção em madeira em altura (edifícios com mais de 6 pisos), contribuindo para a necessidade de descarbonizar o setor da construção.

A presente comunicação apresenta alguns dos produtos que têm vindo a surgir no mercado, alertando-se para aspetos básicos que devem orientar a escolha destes materiais, a sua receção em obra, cuidados em obra e princípios básicos na sua aplicação tendo em vista assegurar a sua durabilidade (tempo em serviço) e, desta forma, permitir que constituam um fator verdadeiro de sustentabilidade na construção.

Palavras-chave: Madeira; CLT; Especificação; Construção; Desempenho.

1. O RESSURGIMENTO DA CONSTRUÇÃO EM MADEIRA

Embora a madeira seja um dos primeiros materiais de construção ao dispor do Homem, a sua utilização como elemento estrutural principal para a construção de edifícios, foi marginalizada pela introdução do betão armado no início do século passado. A capacidade estrutural deste material, a sua menor variabilidade (face a um material natural como a madeira), maior

durabilidade e menor suscetibilidade face a incêndios, constituíram fatores que suportaram o afastamento da madeira como elemento estrutural.

Mais recentemente, as alterações no setor da construção, nomeadamente a utilização crescente de soluções pré-fabricadas e a necessidade da diminuição da pegada de carbono dos materiais empregues, aliado ao aparecimento de um novo material, o CLT – *Cross-laminated timber*, proporcionou um renascimento da madeira como principal elemento estrutural em diversos edifícios na Europa (principalmente na europa do central e do norte) e América do Norte.

Assim, os desenvolvimentos decorrentes da introdução do CLT, a partir da década de 90 do século passado, passaram a possibilitar a construção em altura com um forte componente de pré-fabricação e digitalização do processo de construção proporcionando um aumento da produtividade da construção (tempo de construção e redução de resíduos e poeiras). O CLT em conjunto com vigas lameladas coladas, num sistema misto, tem vindo a permitir um recrudescimento da construção em madeira, muitas vezes com utilização conjunta, mais ou menos intensa, de elementos metálicos ou de betão armado. Estima-se atualmente uma capacidade instalada global de cerca de 2 a 2,5 milhões de m³ de painéis de CLT (70% da qual na Europa).

O maior edifício construído até ao momento em CLT é o Voll Arkitektur's Mjøstårne, (Brumunddal, Noruega), figura 1, constituído por 25 andares, sendo utilizada uma estrutura em betão armado na caixa de escada e de elevadores (http://vollark.no/portfolio_page/mjostarnet/). A estrutura principal é constituída por treliças de madeira lamelada colada nas fachadas, bem como em colunas e vigas constituindo a estrutura interior. Grandes elementos pré-fabricados constituem a fachada do edifício.



Figura 1. Voll Arkitektur's Mjøstårne, (Brumunddal, Noruega) (Fonte: http://vollark.no/portfolio_page/mjostarnet/)

Em Portugal, a construção da Redbridge School, o mais alto edifício português construído maioritariamente em madeira, continua a ser um marco. Localizado em Campo de Ourique, em Lisboa, e com assinatura do Arq. Nunes Mateus, o edifício assenta essencialmente em peças de madeira lamelada colada da classe GL24h e em CLT, figura 2a e b.

No Edifício Principal, e para todos os pisos a partir do Piso 1, foi preconizada uma estrutura maioritariamente de madeira, constituída por elementos de madeira lamelada colada da classe GL24h e de CLT, em conjunto com elementos estruturais de betão armado em torno dos acessos que se prolongam além do Piso 0, todo ele constituído por uma laje de betão armado que apoia em elementos de betão armado, que suportam as bandas maciças (vigas). Regra geral, estas bandas maciças efetuam a transição estrutural para a estrutura de madeira.

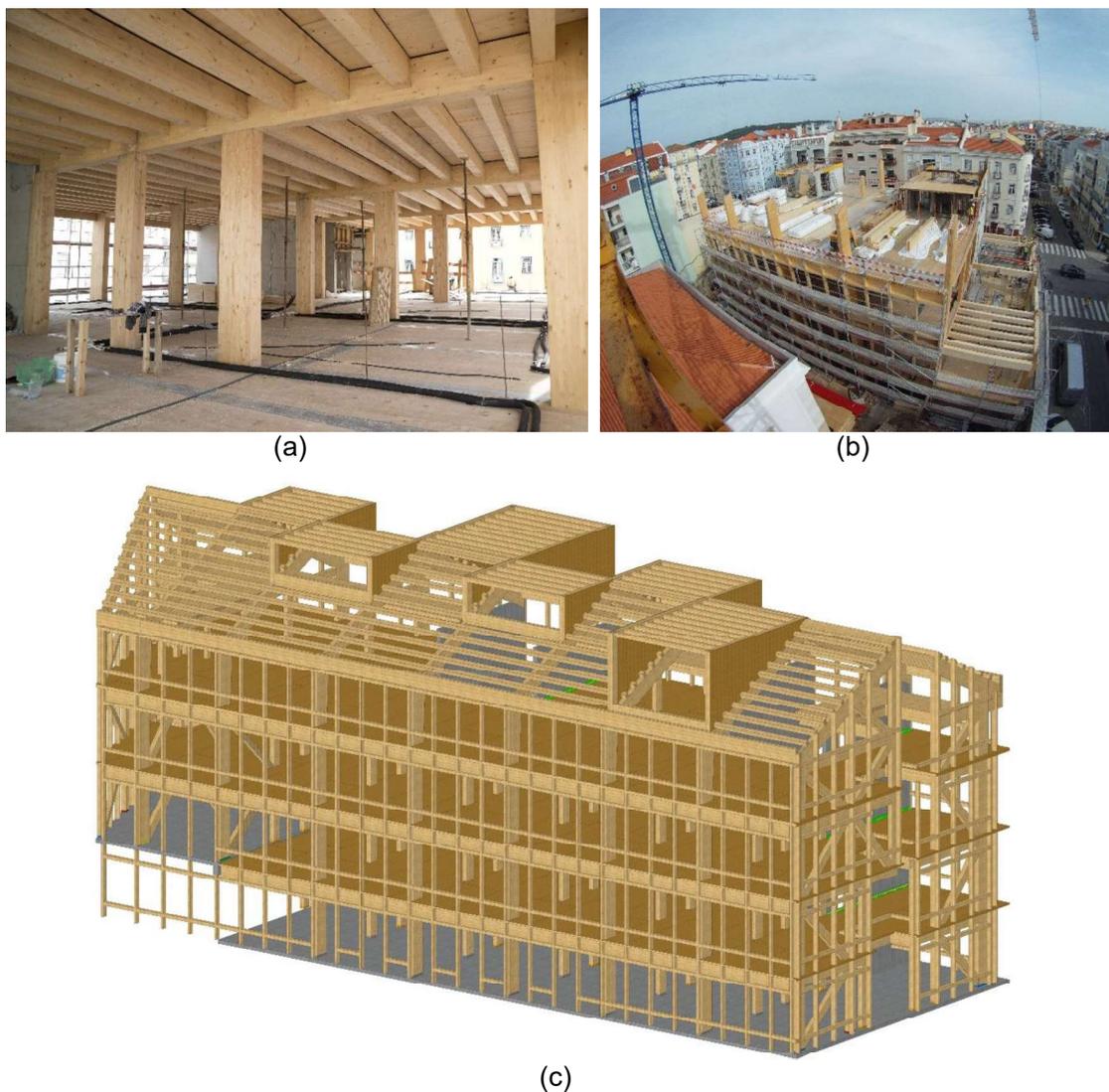


Figura 2. Redbridge School: a) e b) fotos da execução; e c) perspetiva da modelação do edifício em CLT

Relativamente a este projeto em particular, a estrutura de madeira é constituída por um conjunto de pórticos transversais, cada um deles composto, regra geral, por seis pilares, ver Figura 2c. Os pórticos são travados com elementos diagonais, também em madeira, ou varões de aço cruzados, tanto na direção transversal como na direção longitudinal. Os pavimentos elevados são estruturados com painéis CLT apoiados em vigas secundárias, que, por sua vez, estarão apoiadas nas vigas principais dos pórticos. Os painéis CLT nos pavimentos têm espessuras de 0,10m, nos pisos 1 e 2 e 0,15m, nos pisos 3 e intermédio, por forma a providenciar rigidez no seu plano.

A concretização deste tipo de edifício foi suportada nos vários países por alterações dos regulamentos em vigor, nomeadamente o relativo à segurança face a incêndios, (i.e. França, alguns Estados dos Estados Unidos da América, ...). Outros aspetos devem ser acutelados projeto a projeto, nomeadamente questões de dimensionamento e durabilidade.

Em muitos países este tipo de edifícios resulta de políticas projetadas para a promoção do uso da madeira nas construções, principalmente com o objetivo de sustentar suas atividades domésticas relacionadas com a economia florestal. É assim com a política em França que procura impor o uso de materiais de origem biológica em pelo menos 50% em edifícios públicos. Políticas semelhantes têm vindo a ser adotadas na Alemanha.

2. SUSTENTABILIDADE NA BASE DA ESCOLHA DA MADEIRA

O Pacto Ecológico (*Green Deal*) inclui a componente de descarbonização do setor da construção, como forma de atingir a meta da neutralidade carbónica em 2050 definida pela Comissão Europeia, identificando um incremento do uso de produtos à base de madeira e biomateriais como relevante para a concretização desta meta, levando à criação de planos verdes nacionais (nomeadamente em França e Alemanha). A madeira como material renovável e sequestrador de carbono (um metro cúbico de madeira na construção tem um impacto expectável de sequestro de uma tonelada de dióxido de carbono da atmosfera), aliado a um desempenho estrutural adequado, constitui-se como material estrutural alternativo ao aço e ao betão armado.

Importa ressaltar que este panorama é unicamente verdadeiramente sustentável caso os aspetos de durabilidade sejam tidos em conta no projeto, em estaleiro e na execução destas obras. Uma análise de sustentabilidade considerando lajes e fachadas em CLT quando comparada com betão armado foi conduzida com base no potencial de aquecimento global (GWP) [1]. Este estudo concluiu que o CLT considerando um cenário de reciclagem como fim de vida útil apresenta um menor impacto ambiental em termos de GWP, relativamente ao betão armado, considerando um cenário de aterro como fim de vida útil. Importa realçar o potencial de sustentabilidade da utilização da madeira na construção independentemente dos cenários e premissas consideradas nas análises de ciclo de vida. Outro estudo mostra uma redução média de 26,5% no potencial de aquecimento global num edifício CLT híbrido em comparação com um edifício de betão armado de iguais características, considerando a exclusão das emissões de carbono biogénico [2].

3. PRODUTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA

A construção em madeira é atualmente baseada nos produtos geralmente designados por Engineering Wood Products, englobando nomeadamente os lamelados colados, o lamelado cruzado (CLT) e o LVL, figura 3.

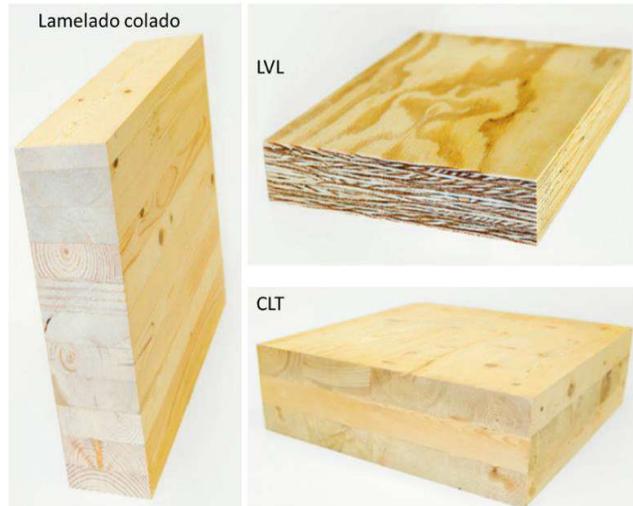


Figura 3. Principais produtos de madeira para fins estruturais

Nos últimos anos estes produtos têm vindo a evoluir da sua forma mais simples para produtos com diferentes configurações suportados no mercado com a marcação CE, nomeadamente pela emissão de Avaliações Técnicas Europeias. O quadro 1 apresenta alguns dos produtos de madeira já cobertos pela obrigatoriedade de marcação CE através de norma europeia harmonizada.

Quadro 1. Produtos correntes na construção com marcação CE obrigatória

Produto	Norma harmonizada
Madeira maciça de secção retangular	EN 14081-1:2005+A1:2011
Lamelado colado	EN 14080:2013
Revestimentos de piso em madeira (exclusão de decks)	EN 14342:2013
Revestimentos de parede em madeira	EN 14915:2013
LVL	EN14374:2004

4. ESPECIFICAÇÃO E FISCALIZAÇÃO

Um desempenho adequado de um produto de madeira na construção depende em larga medida da sua correta especificação e fiscalização. Relativamente à especificação, importa salientar que a marcação CE e a declaração de desempenho asseguram o comprometimento do fabricante com os valores/classes das características de desempenho declaradas e implica que o produto foi avaliado de acordo com um conjunto de prescrições contidas na norma

harmonizada ou na Avaliação Técnica Europeia (ETA) aplicável. A sua aplicação em obra depende, para além disso, do cumprimento de prescrições regulamentares nacionais ou de requisitos específicos da obra, bem como as regras de execução, que assegurem a sua adequação ao uso pretendido.

Alguns produtos de madeira estruturais para a construção devem obrigatoriamente apresentar a marcação CE, no produto ou no lote, acompanhados de uma declaração de desempenho, quadro 1, outros podem apresentar a marcação por via voluntária através da emissão de uma ETA. No caso de produtos com marcação CE voluntária, incluem-se elementos estruturais de madeira maciça para pavimentos e paredes de edifícios não abrangidos por normas harmonizadas. A marcação CE de produtos estruturais é recomendada, ao permitir uma verificação do desempenho do produto por uma entidade independente.

Aspetos gerais a considerar na especificação de produtos de madeira:

- Características essenciais que os produtos devem cumprir (dependendo de tratar-se de um produto ou sistema, pode compreender a resposta a requisitos básicos da construção como sejam os relativos a resistência mecânica, segurança contra incêndio, proteção contra o ruído ou isolamento térmico).
- Teor de água dos elementos à altura da entrega em obra.
- A classe de risco (EN 335) a que os produtos devem obedecer, em resultado da sua durabilidade natural ou de um possível tratamento preservador. A classe de risco reflete o risco de deterioração devido a agentes biológicos, quadro 2.
- A classe de serviço em que os elementos ficarão expostos (definida no Eurocódigo 5 – EN 1995-1-1). A classe de serviço encontra-se relacionada com o teor de água de equilíbrio estimado para as peças em serviço, quadro 2.

Quadro 2. Possível correspondência entre a classe de serviço e a classe de risco¹⁾²⁾

Classe de serviço (EN 1995-1-1, Eurocode 5)	Correspondência EN 335
Classe de serviço 1 (ambiente interior seco)	Classe de risco 1
Classe de serviço 2 (ambiente interior húmido)	Classe de risco 1 Classe de risco 2, caso o elemento esteja sujeito a humedecimento ocasional (p.ex. condensação)
Classe de serviço 3	Classe de risco 2 ou 3.1 Classe de risco 3.2 no caso de ambiente exterior sem proteção

¹⁾ Extraída da EN 335:2013

²⁾ Não se considera a situação de madeira em direto contacto com o solo

No caso dos produtos de madeira e sempre que a qualidade estética seja um fator a considerar, a sua especificação deve basear-se em normas europeias em vigor, como por exemplo a EN 942, permitindo uma avaliação objetiva da conformidade do produto entregue em obra.

Outro parâmetro que deve ser tido em conta assenta na capacidade do produto ou sistema de madeira apresentar as ferramentas que suportem a digitalização do processo construtivo, nomeadamente objetos BIM. Igualmente devem-se privilegiar produtos que demonstrem a sua sustentabilidade via certificação ou Declarações Ambientais de Produto (DAP).

A fiscalização deve compreender:

- Verificação da documentação relativa à marcação CE, nomeadamente avaliando quais as características essenciais declaradas e se estas correspondem às características requeridas no projeto.
- No caso de elementos colados (CLT, lamelados,...), caso exista dúvidas sobre a qualidade da colagem, deve ser prevista a necessidade de realização de ensaios de receção. Refira-se que problemas de delaminação originaram diversos incidentes, sendo um deles a cedência de uma laje ocorrida aquando da construção de um edifício no Estado do Oregon (Estados Unidos da América). Neste caso, após análise forense, foi possível detetar a origem da anomalia na existência de problemas de colagem durante a produção dos painéis.
- Medição do teor de água dos elementos e seu registo (indicando o equipamento utilizado e eventuais escalas).

5. DURABILIDADE

Um dos fatores que afeta a sustentabilidade das soluções em madeira diz respeito à garantia de condições que assegurem a sua durabilidade face a deterioração de origem biológica. Para esta questão a consideração de alguns fatores básicos é essencial: a) assegurar que os produtos são entregues dentro da gama de teor de água prescrito; b) verificar, no caso de especificação de produtos tratados, que o produto de tratamento e o nível de retenção de produto estão consentâneos com a classe de risco a que o produto ficará exposto em serviço; c) assegurar condições de armazenamento em obra que não implique riscos de humificação excessiva dos produtos; d) garantir, na fase de construção, que a eventual exposição a condições que possam elevar o seu teor de água acima dos 18% seja compensada pela existência de soluções que permitam a secagem rápida e a garantia que os elementos encapsulados evidenciam teores de água abaixo desse valor, através, por exemplo, da instalação de sistemas de monitorização que permitam o controlo efetivo dos níveis de teor de água.

Estes sistemas de monitorização (pontuais ou contínuos) têm por objetivo avaliar o teor de água dos elementos estruturais antes de operações de revestimento, traduzidas no encapsulamento dos elementos de madeira e possível manutenção, durante um período de tempo prolongado, de condições propensas ao desenvolvimento de bolores ou de fungos de podridão, dando origem a processos de deterioração.

De forma a prevenir a situação de classe de risco 4 (contacto permanente com o solo ou com a água), deve ser tida em conta ao nível do projeto a necessidade de um piso térreo em betão armado ou outro material que não madeira, estando a estrutura de madeira presente acima desse nível. Esta preocupação, que foi seguida nos edifícios pombalinos, impede problemas

de humidade ascensional e conseqüente deterioração por fungos de podridão e térmitas subterrâneas.

No caso específico de elementos horizontais, como lajes em CLT, recomenda-se que sejam fornecidos de fábrica com aplicação de selantes nos bordos. Membranas de proteção temporária com boa permeabilidade ao vapor de água devem ser consideradas quando os elementos em obra possam estar expostos durante tempo prolongado à chuva.

6. CONCLUSÕES

Como notas finais é importante salientar as principais razões para o renascimento sustentado do uso da madeira como um dos principais materiais estruturais.

Devido ao peso reduzido da construção, e como consequência estrutural, os elementos de fundação têm menores dimensões; a montagem rápida e com forte componente de prefabricação permite redução do tempo de execução em aprox. 30-50%; redução dos resíduos de construção e uma redução efetiva e considerável nas emissões de CO₂ (a aplicação de 1m³ de madeira, em substituição de outro material, resultaria na poupança de emissão de 1,1ton. de CO₂).

Por fim, importa salientar a contínua necessidade de maior informação de suporte ao dimensionamento e avaliação das ligações de madeira, dando nomeadamente suporte a modelos que permitam, de uma forma fiável, prever o seu comportamento real.

REFERÊNCIAS

- [1] Piacenza, J.; Seyedmahmoudi, S.H.; Hoyle, C.; Tumer, I. Y.; Haapala, K. R. – “Comparison of sustainability performance for cross laminated timber and concrete”. *Proceedings of the ASME 2013 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*, August 4-7, Oregon, USA.
- [2] Pierobona, F.; Huangb, M.; Simonenb, K.; Gangulya, I. - *Environmental benefits of using hybrid CLT structure in midrise nonresidential construction: An LCA based comparative case study in the U.S. Pacific Northwest*. *Journal of Building Engineering*, Volume 26, November 2019. <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100862>

NON-STRUCTURAL PRECAST ALKALI-ACTIVATED CONCRETE ELEMENTS PRODUCED WITH ALUMINOSILICATE INDUSTRIAL WASTES AND CURED UNDER FORCED CARBONATION

Ghandy Lamaa

PhD student
CERIS-IST-UL, Lisboa
ghandy.lamaa@tecnico.ulisboa.pt

Dany Kassim

PhD student
CERIS-IST-UL, Lisboa
danykassim@tecnico.ulisboa.pt

Bruna Silva

PhD Researcher
CERIS-IST-UL, Lisboa
bruna.silva@tecnico.ulisboa.pt

António P. C. Duarte

PhD Researcher
CERIS-IST-UL, Lisboa
antonio.duarte@tecnico.ulisboa.pt

Rui Vasco Silva

PhD Researcher
CERIS-IST-UL, Lisboa
rui.v.silva@tecnico.ulisboa.pt

Jorge de Brito

Full Professor
CERIS-IST-UL, Lisboa
jb@civil.ist.utl.pt

ABSTRACT

This study presents the results of an experimental investigation on the use of aluminosilicate industrial wastes as precursors to produce alkali-activated concrete paving blocks. Ordinary Portland Cement and three alkali-activated binders were studied: municipal solid waste incinerator bottom ashes, electric arc furnace slag and fly ash. European standardised concrete pavement blocks (200 mm × 100 mm × 80 mm) were produced and subjected to a three-step curing process involving thermal activation, dry curing and forced CO₂ curing. For each precursor, 16 blocks were produced (8 of them carbonated), visually analysed and tested for compressive and splitting tensile strengths, abrasion resistance, thermal conductivity, slip-skid resistance, and water absorption.

Keywords: Alkali-activated materials, concrete pavement blocks, forced carbonation, non-structural precast elements.

1. INTRODUCTION

Current research has focused on the remarkable growth of the urban land cover phenomena due to the existing significant differences in urbanisation [1, 2]. The expansion of cities has fundamentally changed the basic theory of urbanisation, turning the modern urban area into a complex network of paved surfaces [3, 4]. Nearly every day, individuals spend numerous hours