

Análise da sustentabilidade, custo efetivo e resiliência das construções em madeira laminada colada e madeira laminada cruzada

Analysis of the sustainability, effective cost and resilience of glued laminated timber and cross laminated timber constructions

Matheus Barreto de Góes^{1*}, Adriana Braga Guimarães¹, Edgar Vladimiro Mantilla Carrasco¹

RESUMO

Recentemente encontramos soluções de madeiras para uso estrutural com propriedades especificamente desenvolvidas para combater as limitações da madeira em seu estado natural, como a madeira laminada colada (MLC) e madeira laminada cruzada (CLT). Este trabalho busca fazer apresentação com informações sobre a sustentabilidade, custo efetivo e resiliência das construções em MLC e CLT. No quesito de sustentabilidade e resiliência, os resultados apontam que a madeira é uma opção mais que outros materiais convencionais; enquanto em relação aos custos são encontrados resultados equivalentes entre madeira e concreto. O principal desafio encontrado para crescimento e implementação desses materiais é o pouco tempo de desenvolvimento e necessidade de maior divulgação de pesquisas e resultados práticos na área.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Custo efetivo; Resiliência; Madeira laminada colada; Madeira laminada cruzada

ABSTRACT

Recently we have found wood solutions for structural use with properties specifically developed to combat the limitations of wood in its natural state, such as glued laminated wood (MLC) and cross laminated wood (CLT). This work seeks to make a presentation with information on the sustainability, effective cost and resilience of MLC and CLT constructions. In terms of sustainability and resilience, the results show that wood is more of an option than other conventional materials; while in relation to costs, equivalent results are found between wood and concrete. The main challenge found for the growth and implementation of these materials is the short development time and the need for greater dissemination of research and practical results in the area.

Keywords: Sustainability; Effective cost; Resilience; Glued laminated timber; Cross laminated timber

¹ Universidade Federal de Minas Gerais
*E-mail: Matheus.goes@ufmg.br

INTRODUÇÃO

A madeira é um material usado amplamente nas construções devido às suas características físicas favoráveis para aplicações em estruturas, tais como a alta relação de resistência/peso, baixo consumo de energia para produção, e a intrínseca característica de ser um material natural e renovável. No entanto a capacidade higroscópica e anisotrópica, pode limitar o uso em edifícios onde a altura da estrutura é um desafio a ser vencido. Recentemente encontra-se no mercado alternativas de madeiras engenheiradas, desenvolvidas especificamente para combater as limitações da madeira em seu estado natural, como a instabilidade dimensional, variabilidades e defeitos de crescimento (AYANLEYE *et al.*, 2021).

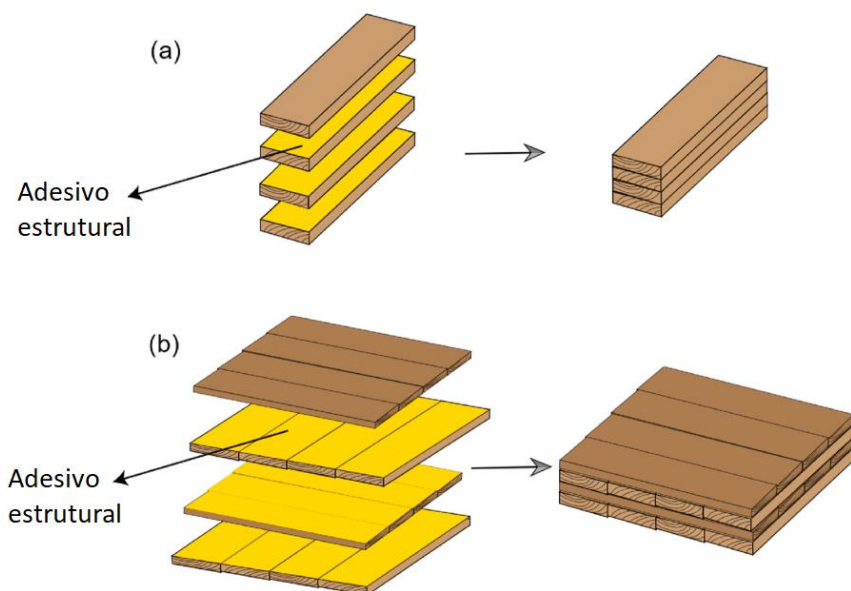
Um modelo disponível e com grande crescimento no ramo de construção civil é a Madeira Laminada Colada (MLC) – *Glue Laminated Timber (Glulam)* –, um sistema onde as tábuas, que são sempre de madeira de reflorestamento como Pinus ou Eucalipto, com espessuras de no máximo 5 cm são dispostas paralelamente e unidas com adesivos estruturais para formar peças com dimensões maiores que sejam capazes de resistir a cargas mais elevadas que a madeira em seu estado original (Figura 1A). As peças de madeira laminada colada são frequentemente aplicadas na construção como vigas e pilares (CARRASCO; BREMER; MANTILLA, 2020).

Outra variedade encontrada é a Madeira Laminada Cruzada (CLT) – *Cross Laminated Timber* –, também baseada em união de tábuas de madeira, porém dispostas de formas ortogonais (cruzadas), resultando na criação de painéis maiores e mais grossos, que podem ser utilizados como paredes e lajes (Figura 1B). Os painéis de CLT tiveram seu uso disseminado no final dos anos 1990 na Europa, devido as vantagens estruturais, qualidades estéticas e ao movimento ambiental crescente naquele período, atualmente os painéis de CLT pré-fabricados fornecem base para muitos projetos de construção em madeira. O principal centro de utilização de fabricação ainda se concentra na Europa, sendo responsável por 90% da produção mundial no ano de 2015, com um volume de um milhão de m³, e uma projeção para este número subir para mais de três milhões até o ano de 2025 (GERMAIN *et al.*, 2022).

Embora a Europa tenha um aumento considerável no uso destas novas tecnologias em madeira, os países da América não apresentam um crescimento na mesma proporção. Acredita-se que haja um grande mercado nas Américas, porém a adoção nestes países tem

sido relativamente menos impulsionada. A indústria nestes países é tradicionalmente lenta e metódica para a implementação de novas tecnologias. Nos Estados Unidos, especificamente, estima-se que novas técnicas ou produtos de construção demoram cerca de 17 anos para serem difundidos até se tornarem populares (FERNANDEZ, 2005).

Figura1 – Exemplo de montagem de MLC e CLT



Fonte: Adaptado de Bazli; Heitzmann; Ashrafi (2022)

Em um levantamento realizado por Germain *et al.* (2022), aponta que o atraso na disseminação desta técnica nos Estados Unidos se deve em grande parte pela falta de conhecimento de seus atributos, capacidades e custos, e que um número considerável de arquitetos e do país nem conheciam o CLT, mostrando que um passo necessário para a adoção do produto é a conscientização, que por sua vez desperta o interesse dos profissionais.

Neste sentido este trabalho trata da investigação de características relacionadas ao custo efetivo, a sustentabilidade e a capacidade de resiliência das construções em madeira laminada colada e madeira laminada cruzada.

METODOLOGIA

O método de estudo utilizado para a realização deste trabalho foi a pesquisas com abordagem na temática disponível nas diferentes bases de dados on-line, contemplando fontes bibliográficas recentes (entre 2017 e 2022) que abordam o tema de construções em madeira de forma mais atualizada, e fontes bibliográficas mais antigas (anteriores a 2017)

que tratam do tema de construções em madeira de forma geral e podem ser consideradas referências para esta área de estudo.

O trabalho está dividido em três etapas principais, que fazem uma apresentação com informações sobre a sustentabilidade, que leva em conta os aspectos de emissão de gases de efeito estufa, manejo de florestas sustentáveis, e fim do ciclo de vida; custo efetivo; e resiliência das construções em madeira. Após isso são feitas algumas discussões a respeito do tema apresentado e por fim as considerações finais sobre o assunto.

SUSTENTABILIDADE

Desenvolvimento sustentável é um conceito que vem se tornando cada vez mais frequente na sociedade atual. No ramo da construção não é diferente, esse conceito busca encontrar um equilíbrio entre desenvolvimento social, econômico e ambiental visando o bem-estar do ser humano a longo prazo. Dentro desse contexto a construção de edifícios apresenta um grande impacto nos setores econômicos e ambientais (HASSAN; NOUR EMAD; ABDULAHAD, 2022).

Um ambiente construído sustentável deve sempre buscar otimizar a relação entre as consequências econômicas e ambientais dentro das concepções de projeto. A escolha do material de construção mais adequado pode ajudar a melhorar o desempenho sustentável dos edifícios. Nesse sentido a madeira apresenta-se como um material com características sustentáveis que pode ser comparada com os outros materiais de construção que são largamente utilizados no Brasil.

Emissão de gases de efeito estufa

A madeira é um dos poucos materiais de construção naturais e renováveis. Ao passo que materiais como concreto e aço são responsáveis pela emissão de CO₂ na atmosfera durante a sua fabricação, as árvores, por sua vez, absorvem naturalmente o CO₂ durante o seu crescimento. À medida que produtos que possuem madeira em sua composição são utilizados nas construções o CO₂ absorvido durante o crescimento da árvore ficará armazenado durante toda a vida útil do material. Com isso o uso de madeira em substituição a componentes de concreto e aço reduz a quantidade de carbono incorporada aos edifícios. (ABED *et al.*, 2022).

Além da redução de emissões incorporadas aos materiais, a madeira pré-fabricada pode reduzir consideravelmente as emissões de carbono por veículos pesados.

Considerando que a madeira laminada colada e a madeira laminada cruzada são produzidas fora do local de instalação na obra, isso resulta em processos de montagem simples, com quantidade de máquinas reduzidas, estimando uma economia de até 20% em comparação com outros métodos tradicionais (KRUG; MILES, 2013).

O alto nível de estanqueidade, e a baixa condutividade térmica da madeira também podem ser citados como fatores que vão melhorar a eficiência energética de edifícios com este componente. Um estudo realizado na China por Guo *et al.* (2017), fez uma avaliação de ciclo de vida para comparar o perfil de emissões de um edifício de sete andares em concreto com o seu equivalente hipotético em madeira, concluindo que o edifício em madeira pode reduzir até 30% o consumo de energia, e mais de 40% a emissão de CO₂ quando comparado com edifícios de concreto e aço (ABED *et al.*, 2022)

Essa abordagem em relação as emissões de gases de efeito estufa demonstra que os produtos desenvolvidos em madeira têm a capacidade de melhorar a eficiência energética dos edifícios e oferecem uma oportunidade para a indústria da construção se envolver com o objetivo alcançar uma redução significativa nas taxas de emissões líquidas carbono.

Manejo de florestas sustentáveis

Considerando que a utilização MLC e CLT seja ampliada e adotadas por construtores, o aumento de sua aplicação na indústria pode se levantar questionamentos sobre o consumo de madeira para sua produção. A característica da madeira de ser um material renovável se deve ao fato de ser encontrada em larga escala na natureza. Especificamente as peças de MLC e CLT são produtos desenvolvidos a partir de árvores de reflorestamento, o que não representa um risco para as florestas nativas das regiões fabris (RAMOS *et al.*, 2022).

Embora a madeira utilizada seja decorrente de florestas de replantio, é preciso que se tenha uma preocupação com o planejamento florestal sustentável a longo prazo, para garantir os benefícios ambientais, econômicos e sociais futuramente. À medida que a demanda por madeira para a produção de MLC e CLT aumenta, é esperado que as áreas destinadas ao plantio de árvores de reflorestamento também aumentem, criando assim uma saída de mercado alternativa para essas espécies e incentivando o manejo sustentável ao longo do tempo (ABED *et al.*, 2022).

Conforme demonstrado por Ramage *et al.* (2017), apesar de 90% da produção global de CLT (estimada em 700.000 m³) se encontrar na Europa a área de florestas da região aumentou 90.000 km² entre 1990 e 2015, com as técnicas de manejo florestais sustentáveis.

Práticas de manejo de florestas sustentáveis incluem abordagens de gestão que garantam que nossa necessidade de utilização seja atendida sem prejudicar as necessidades das gerações futuras. As colheitas para retiradas de toras que serão utilizadas na produção de CLT e MLC devem ser substituídos pelo crescimento natural da floresta ao longo do tempo.

Fim do ciclo de vida

A abordagem da sustentabilidade do material deve ser feita incluindo as etapas de fabricação dos componentes, transporte, utilização e descarte deste material. Em relação ao descarte final da madeira, que é um aspecto crucial para o tópico de sustentabilidade, deve se atentar ao fato que a queima ou decomposição desse material irá liberar novamente o CO₂ armazenado de volta na atmosfera. Dessa forma, o reaproveitamento dos componentes em madeira é essencial para a maximização dos benefícios ambientais oriundos da MLC e CLT.

Nesse cenário, surgem três destinações indicadas para as peças que seriam descartadas. A mais indicada seria o reaproveitamento, uma vez que as peças forem retiradas de suas destinações originais, elas podem ser usadas em outras edificações nas mesmas condições, ou adequadas para outras finalidades não estruturais, como usos em fachadas e decorações. A reutilização prolonga a vida útil do material, que por sua vez aumenta o tempo do sequestro de carbono da atmosfera e evita a necessidade de produção de madeira nova e consequente emissão de mais gases (ABED *et al.*, 2022).

Quando não é possível o reaproveitamento, a madeira descartada pode ser utilizada para a produção de biomassa, esse método possibilita uma redução no consumo de combustíveis fósseis. A última alternativa, menos adequada, seria a disposição em aterros, ela se torna menos desejada pois libera novamente o CO₂ mesmo que indiretamente, e não recupera a energia dos produtos da madeira (ABED *et al.*, 2022).

De forma geral, ao se projetar com a MLC e CLT, deve se prever uma análise completa de todas as etapas da construção, incluindo destinações para fim da vida de

todos os componentes, na intenção de estabelecer a madeira como um material verdadeiramente sustentável.

CUSTO EFETIVO

Um dos grandes adversários do avanço da utilização de MLC, CLT e madeira de forma geral na construção, é o medo que os profissionais têm que esse método possa acarretar custos de projeto mais elevados que os métodos tradicionais. Considerando que a indústria da construção caminha sempre em direção oposta a riscos, é muito improvável que tecnologias revolucionárias sejam adotadas sem que haja uma comprovação evidente de economias consideráveis de custos. Inovações em áreas que diminuem os prazos de construção ou os gastos com projetos sempre impulsionam vantagens para o mercado de construções. Os custos relacionados às construções em MLC e CLT não são bem compreendidos pois é um material relativamente novo, e não existe um número considerável de projetos construídos que possam confirmar essa economia efetiva. No entanto, existem muitos estudos que podem ser apresentados como comparativos dos custos entre construções em madeira e outros métodos convencionais (ABED *et al.*, 2022).

Custos de material

Uma grande parcela do custo total da edificação está ligada ao custo do material utilizado. Para que a madeira laminada colada e madeira laminada cruzada tenham uma maior taxa de utilização, é necessário que o seu preço seja competitivo com outros materiais já consolidados como concreto e aço. Apesar da importância desta comparação, pode ser difícil fazê-la diretamente devido a condições de disponibilidade e ofertas e demandas de mercado em cada região. Entretanto, foram feitos alguns estudos comparativos neste sentido (MALO; ESPINOZA, 2016).

Um estudo realizado por Yates, Linegar, Dujic (2008), no Reino Unido avaliou a construção do edifício Murray Grove Cross Laminated Timber (CLT) de nove andares, e constatou que a utilização de um sistema estrutural de madeira aumentou o custo de material em 30% se comparado ao concreto armado. Outra análise, realizada por Fanella (2018), nos Estados Unidos, comparou os custos de um edifício hipotético em CLT de dez andares com um equivalente de estrutura em concreto moldado *in loco*, apontando resultados em que a madeira teria um custo entre 16% e 29% mais elevado que o concreto.

No entanto, outros estudos demonstram que a madeira pode representar economia de custos ao projeto. Um trabalho realizado em Sydney, Austrália, faz uma análise detalhada de um projeto hipotético de sete andares, e demonstrou que em comparação com um edifício de concreto armado ele teria uma redução de 13,6% nos custos de material, com todas as áreas apresentando economia, exceto as colunas de Glulam (WOODSOLUTIONS, 2017).

Green (2017), encontrou resultados favoráveis para a utilização de paredes estruturais em um edifício, com economia de até 26%, enquanto soluções de piso, colunas e vigas custariam em madeira 43% a mais do que em concreto. Um fator que deve ser levado em consideração na hora de se calcular o custo do material, é a origem da compra. Byle (2012), afirma que a economia de custos de material poderia ser duplicada se os materiais fossem produzidos localmente, e não importados da Europa.

A leveza total das estruturas também é um item significativo de economia, a madeira representa uma diminuição entre 40% e 50% no peso final da estrutura, quando comparado ao concreto. Isso reduz os gastos com fundações profundas, como concretagem, perfurações e terraplanagem, o que também reduz significativamente os custos totais da construção (SCOUSE et al., 2020).

Não fica definitivamente claro que a utilização de MLC e CLT seja mais econômica que concreto ou aço. Entretanto, mesmo considerando que os custos atualmente possam ser mais elevados, é esperado que eles passem a diminuir à medida que os projetos com esse material sejam mais disseminados e tenhamos uma cadeia de produção e distribuição mais consolidada no mercado. Além disso considerar as economias apenas no custo do material ignora os ganhos que podem ser obtidos em outras áreas do projeto de construção.

Redução no prazo de construção

Uma característica frequentemente apontada como vantagem da construção em MLC e CLT é a velocidade na qual os edifícios podem ser construídos. Devido a possibilidade de pré-fabricação dos componentes que podem ser entregues no local da obra e instalados por uma pequena equipe de trabalhadores. Além de acelerar o processo de construção, isso permite que componentes estruturais sejam construídos simultaneamente com elementos de fundação. Isso diminui o tempo de atraso comum em

projetos de alvenaria, onde é necessário a conclusão de etapas de fundação, para se dar início a execução de paredes, ou quando é necessário a cura de 28 dias do concreto para se erguer um novo pavimento (MALO; ESPINOZA, 2015).

As etapas de projeto, fabricação e construção de um projeto em MLC e CLT quando coordenadas adequadamente trazem uma redução completa de tempo no local da obra, com benefícios para a segurança dos trabalhadores envolvidos, menor interrupções e transtornos para a vizinhança, além de redução no desperdício de materiais. Alguns estudos apontam que a construção em madeira pode ser erguida em um prazo entre 3 e 4 dias por pavimento, enquanto o concreto armado necessita de 28 dias como apontado anteriormente (ABED *et al.*, 2022; MALO; ESPINOZA, 2015).

Em um trabalho realizado por Smith *et al.* (2018), foi comparado o cronograma de execução de uma série de sete edifícios de estrutura em madeira com edifícios de estrutura convencionais típicas em concreto. Como resultado foi obtido que nos sete casos houve uma redução média de 20% no prazo de execução. Com os projetos de madeira levando em média 12,7 meses e os projetos de concreto 15,4 meses.

Mesmo que já seja comprovada uma redução no prazo de execução de projetos em madeira quando comparados a projetos de estruturas de concreto, assim como no caso do custo do material, é esperado que com o crescimento e maior adoção dessa tecnologia no mercado, a experiência adquirida com elaboração, fabricação e execução também represente uma diminuição ainda maior no prazo de duração das obras.

RESILIÊNCIA DAS CONSTRUÇÕES EM MADEIRA

O estudo do desempenho das estruturas é fundamental para garantir a segurança dos edifícios. No contexto atual do design sustentável, as construções devem ser projetadas para atender aos mais diversos eventos críticos. Existe uma necessidade, crescente com o efeito das mudanças climáticas, de se antecipar as situações adversas como terremotos, furacões e outros tipos de desastres naturais, a fim de garantir a resistência das estruturas a estes danos ou falhas que podem levar a perdas materiais ou humanas. Não é possível existir um conceito de sustentabilidade em uma estrutura que pode precisar ser reconstruída antes do fim de sua vida útil por falhas não previstas anteriormente (THINK WOOD, 2017).

Em 2014, o Instituto Nacional de Construção Ciências (NIBS) dos Estados Unidos, juntamente com outras organizações que representam cerca de 750.000 profissionais emitiram uma declaração conjunta sobre o tema escrevendo resiliência como: “A capacidade de preparar e planejar, absorver, recuperar e adaptar-se com mais sucesso a eventos adversos” (THINK WOOD, 2017).

Embora a pesquisa relacionada a resiliência de edifícios de materiais convencionais como concreto e aço seja estudada a mais tempo por profissionais, os estudos sobre o comportamento de edifícios de madeira quando submetidos a eventos sísmicos são mais recentes, com um grande crescimento apenas a partir do início dos anos 2000. Consequentemente existem um número limitado de respostas para o comportamento em tais situações, mas os estudos encontrados apresentam respostas positivas para essas ocasiões. Oportunamente são estudos realizados por pesquisadores de regiões mais propensas a terremotos, como leste asiático (Japão, China), Américas (Chile, Canadá, EUA) e Europa (ABED *et al.*, 2022).

Em um estudo realizado por Ceccotti *et al.* (2013), foi construído no Japão um edifício de sete andares em CLT, em escala real, de acordo com a norma europeia Eurocode 80 (Figura 2). O prédio foi construído sobre uma mesa de agitação 3D e submetido a uma carga de terremoto simulado. Após recebimento de uma série de cargas de terremotos, o edifício não sofreu nenhum deslocamento residual e não foi constatado nenhum dano crítico.

Um outro trabalho, realizado no Canadá por Shahnewaz *et al.* (2017), buscou analisar o comportamento sísmico de um edifício hipotético de seis andares, construído em CLT através de Análise Dinâmica Incremental. Com essa técnica os pesquisadores conseguiram examinar a resposta estrutural do edifício sob excitações de terremoto simuladas. O objetivo foi verificar se a construção poderia resistir a um MCE (*Maximum Considered Earthquake* – Máximo terremoto conhecido), terremoto de intensidade extremamente elevada com movimentos do solo de alto nível, com previsões para acontecer uma vez a cada 2.500 anos. Os resultados indicaram que não ocorreria nenhum dano relevante durante um MCE, e a possibilidade de colapso foi inferior a 0,1%.

Figura 2: Edifício em CLT em escala real



Fonte: Ceccotti *et al.* (2013)

Timmers e Jacobs (2017), realizaram um outro estudo através de análises computacionais e numéricas, comparando um edifício com estrutura de concreto armado de 20 andares, com um equivalente construído em madeira (Figura 3). O edifício em madeira possuía as colunas em MLC e as lajes de piso e paredes em CLT. Ao final do estudo o projeto em madeira possuía a metade da massa e metade da rigidez do concreto armado, o que é desejável para a resiliência do edifício.

Figura 3 – Comparativo entre os dois edifícios de concreto armado e madeira



Fonte: Timmers e Jacobs (2017)

Todos esses estudos realizados demonstram que além de a madeira possuir um desempenho satisfatório durante situações críticas de eventos sísmicos, ela pode ter um desempenho superior ao do concreto. Esse desempenho é elevado pois as construções em madeira são consideravelmente mais leves que as de concreto, o que minimiza as forças de inércia geradas em momentos de terremotos e reduz o risco de colapso. Além disso a alta rigidez de painéis de CLT permite que as estruturas resistam à distorção lateral e as conexões dúcteis possam ceder sem comprometer a integridade estrutural do conjunto (ABED *et al.*, 2022).

Mesmo com pesquisas já realizadas que comprovam a viabilidade de resistência de utilização de MLC e CLT sob as condições sísmicas críticas, são necessários mais estudos investigativos para confirmações de edifícios mais complexos, principalmente com mais de 20 andares.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este artigo buscou trazer informações sobre a madeira laminada colada e a madeira laminada cruzada como materiais de construção alternativos aos materiais mais utilizados tradicionalmente como concreto e aço. A análise trazida por meio do estudos de artigos foi dividida em três pontos que são essenciais para um material de construção ser considerado eficiente para utilização em sistemas estruturais: sustentabilidade, custo efetivo e resiliência.

Em caráter de sustentabilidade a madeira apresenta uma grande vantagem por ser um material disponível na natureza e renovável, portanto não emite gases que contribuem para o efeito estufa durante o seu processo de crescimento, além de atuar como armazenando carbono durante toda a sua vida útil, enquanto o setor industrial que fabrica o cimento é responsável por parte considerável da poluição que temos atualmente. O incentivo ao manejo e plantio de árvores de reflorestamento reforça a importância da utilização da madeira e indica outro ponto positivo de sua utilização, pois a fabricação de MLC e CLT a partir de florestas controladas protege as florestas nativas do desmatamento para esta finalidade, e incentiva um mercado para produtores florestais. Em última instância, o ciclo de vida do material derivado de madeira, tende a um benefício maior para o meio ambiente, pois além do sequestro de carbono realizado pela madeira durante o tempo de uso da peça primária, o material pode ser reutilizado de várias formas antes

de ser descartado, o que prolonga sua vida útil, retardando o retorno do carbono na atmosfera, demonstrando um ponto positivo para o meio ambiente.

Em relação ao custo efetivo, que é sempre tratado como uma das partes mais importantes do processo de projeto, por vezes razão pela qual um sistema construtivo ou material é escolhido, podemos analisar de duas formas. Primeiramente o material de forma isolada, madeira versus concreto, ou madeira versus aço, onde existe uma variação de acordo com as localidades onde as pesquisas são feitas, relacionadas com disponibilidade de matéria prima, ofertas e demandas, em alguns casos existem vantagens em se utilizar a madeira, em outros o concreto ou aço. Ficando, assim, difícil estabelecer um material mais vantajoso em todas as situações. Em contrapartida, um fator onde é possível estabelecer a madeira como mais vantajosa é em relação ao prazo de execução da obra, os dados apresentados mostram uma redução significativa do tempo de duração de obras em MLC e CLT, o que conseqüentemente irá reduzir os custos da construção de forma indireta. Há de se considerar que como ainda se trata de uma tecnologia que está em crescimento e implementação à medida que a aderência ao mercado aumente, e passe a ser mais ofertado no mercado a tendência é que seu custo seja equiparado aos outros métodos, e a experiência de profissionais envolvidos no processo de projeto também diminua o prazo de execução.

Por fim, a análise sobre a resiliência das construções em madeira, descrita como a capacidade de uma construção de receber, se adaptar e recuperar de eventos adversos, como abalos sísmicos, furacões, ou outros eventos decorrentes das mudanças climáticas, nos aponta um panorama favorável para construções em MLC e CLT. No material apresentado a madeira apresenta um desempenho satisfatório em situações críticas, e superior ao do concreto. Como é um material mais leve a madeira alivia o peso das fundações reduzindo o momento de inércia gerado em terremotos por exemplo, e o sistema de ligações e encaixes facilita reparos após os tremores, diferente do concreto que possui uma estrutura rígida.

CONCLUSÕES

À medida que o desenvolvimento econômico, ambiental e social acontece em nossa sociedade é sempre necessário buscar alternativas que acompanhem as mudanças. Alternativas sustentáveis para auxiliar o contínuo crescimento da sociedade são cada vez mais solicitadas, e devem ser mais bem aceitas conforme o passar do tempo. A MLC e

CLT surgem neste contexto com finalidade de preservar o meio ambiente, reduzir os custos e fornecer mais segurança em situações críticas para os usuários.

O material apresentado nos sugere que em todos estes aspectos a madeira supera ou pelo menos se iguala aos métodos mais tradicionais. Embora fique claro que quanto mais estudos e construções com este material sejam desenvolvidos mais conclusões favoráveis poderão ser tiradas, já é possível dizer que a implementação desse método tem sido aumentada por construtores e usuários que buscam aliar economia, sustentabilidade e segurança, e eles tem obtido sucesso.

Para se ter um aumento da utilização desse material que se demonstra tão eficiente é necessário que haja a alimentação desse ciclo. Através mais divulgação de resultados de pesquisas e resultados práticos por construtores, aumentando o interesse dos usuários em utilização, o que vai gerar uma movimentação de mercado com aumento de fábricas e produtos derivados, retornando em investimento financeiro para desenvolvimentos e pesquisas mais avançadas no setor.

REFERÊNCIAS

- ABED, J. et al. A Review of the Performance and Benefits of Mass Timber as an Alternative to Concrete and Steel for Improving the Sustainability of Structures. **Sustainability**, 14, n. 5570, 2022.
- AYANLEYE, S. et al. Durability and protection of mass timber structures - A Review. **Journal of Building Engineering**, n. 46, 2021.
- BAZLI, M.; HEITZMANN, M.; ASHRAFI, H. Long-span timber flooring systems A systematic review from structural performance and design considerations to constructability and sustainability aspects. **Journal of Building Engineering**, n. 48, 2022.
- BYLE, D. Designing with Cross Laminated Timber. **The Wood Products Council**. Washington, DC, USA. 2012.
- CARRASCO, E. V. M.; BREMER, C. F.; MANTILLA, J. N. R. D. Avaliação do desempenho estrutural de paredes de madeira laminada colada. **Mix Sustentável**, Florianópolis, 6, n. 3, Junho 2020. 83-90.
- CECCOTTI, A. et al. SOFIE project – 3D shaking table test on a seven-storey full-scale cross-laminated building. **Earthquake Engineering & Structural Dynamics**, 43, n. 13, 2013.

FANELLA, D. Cost Comparison of Cross Laminated Timber (CLT) and Cast-in-Place Reinforced Concrete Structures. *Concrete Reinforcing Steel Structure*, Janeiro 2018.
FERNANDEZ, J. **Material Architecture**. 1. ed. Londres: Routledge, 2005. 344 p.

GERMAIN, R. et al. Assessing the adoption of Cross Laminated Timber by architects and structural engineers within the United States. **Journal of Green Building**, 17, n. 1, janeiro 2022. 127-147.

GREEN, M. The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures. Vancouver, BC, Canada: **Michael Green Architecture**, 2017.

GUO, H. et al. Energy Saving and Carbon Reduction in the Operation Stage of Cross Laminated Timber Residential Buildings in China. **Sustainability**, 9, n. 292, 2017.

HASSAN, O. A. B.; NOUR EMAD, A. A.; ABDULAHAD, G. A comparative study between glulam and concrete columns in view of design, economy and environment. Case Studies in **Construction Materials**, 16, Fevereiro 2022. 1-13. Acesso em: 07 Novembro 2022.

KRUG, D.; MILES, J. **Offsite Construction: Sustainability Characteristics**. Londres: Build Offsite, 2013.

MALLO, M. F. L.; ESPINOZA, O. Awareness, Perceptions and Willingness to Adopt Cross-Laminated Timber by the Architecture Community in the United States. **Journal of Cleaner Production**, 94, Maio 2015. 198-210.

MALLO, M. F. L.; ESPINOZA, O. Cross-Laminated Timber vs. Concrete/Steel: Cost Comparison Using a Case Study. In **Proceedings of the World Conference on Timber Engineering–WCT**, Vienna, Agosto 2016.

RAMAGE, M. H. et al. The wood from the trees: The use of timber in construction. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 68, 2017.

RAMOS, F. et al. Considerações sobre o desenvolvimento de um sistema construtivo misto concreto e madeira laminada cruzada. **Conjecturas**, 22, n. 8, 2022. 745-759.

SCOUSE, A. et al. Regional and Net Economic Impacts of High-Rise Mass Timber Construction in Oregon. **Sustainable Cities and Society**, 61, 2020.

SHAHNEWAZ, M. D. et al. Seismic Performance of Cross Laminated Timber (CLT) **Platform Building by Incremental Dynamic Analysis**. **39th IABSE Symposium – Engineering the Future**, Vancouver, Canadá, September 21-23 2017.

SMITH, R. E. et al. Mass Timber: Evaluating Construction Performance. **Architectural Engineering and Design Management**, 14, 2018.

THINK WOOD. Building Resilience: Expanding the Concept of Sustainability. **THINK WOOD**. [S.l.], p. 8. 2017.

TIMMERS, M.; JACOBS, A. T. Concrete apartment tower in Los Angeles reimaged in mass timber. **Engineering Structures**, 167, 2017. 716-724.

WOODSOLUTIONS. Rethinking Office Construction—Consider Timber. Melbourne, Australia: **Forest and Wood Products Australia**., 2017.

Recebido em: 03/11/2022

Aprovado em: 05/12/2022

Publicado em: 08/12/2022