

Madeira lamelada colada: potencial em edificação, da graduação à industrialização

Glued laminated timber: potential on building, from undergraduate to industrialization

Madera laminada encolada: potencial de construcción, desde la graduación hasta la industrialización

Beatriz Alineri Pauli

Arquiteta, FAAC, UNESP, Bauru
arianepotze@gmail.com

Maximiliano dos Anjos Azambuja

Professor Doutor, FE, UNESP, Bauru
m.azambuja@unesp.br

Luttgardes de Oliveira Neto

Professor Doutor, FE, UNESP, Bauru
luttgardes.oliveira-neto@unesp.br

RESUMO

A Madeira Lamelada Colada (MLC) apresenta diversas características e vantagens sobre outros materiais construtivos, porém no Brasil é ainda pouco difundida e procurada nas áreas de engenharia civil e arquitetura. Isto se deve ao pouco conhecimento sobre as qualidades desse material e de seu processo construtivo, poucos profissionais especializados e fábricas instaladas. O presente trabalho buscou analisar as publicações no Brasil e na América Latina, em quais campos de pesquisas têm sido desenvolvidos para se ter uma visão das razões para a escassa utilização no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Madeira Lamelada Colada, MLC, construção civil, processo construtivo.

ABSTRACT

The Glued Laminated Timber (Glulam) technique presents a lot of features and benefits over other constructive materials and the most diverse applications. It has become an important feedstock in construction and it can be said that this material brings even more advantages than solid wood. The Glulam is best known for its use on constructive elements (beams, pillars, casings, roofing structures, etc.), but little is mentioned about the technique's application on adornments or furniture. In Brazil, the knowledge about the qualities of this material is even less spread. This work intends to search for the reasons why the Glulam is scarcely used in Brazil, as it does to show the material's potential on not only structural elements, by the making of an architecture project of a Living Area.

Keywords: Glued Laminated Timber, Glulam, building.

La Madera Laminada Colada tiene varias características y ventajas sobre otros materiales de construcción, pero en Brasil aún no está muy extendida y es buscada en las áreas de ingeniería civil y arquitectura. Esto se debe al poco conocimiento sobre las cualidades de este material y su proceso de construcción, pocos profesionales especializados y fábricas instaladas. El presente trabajo buscó analizar publicaciones en Brasil y América Latina, en las que se han desarrollado campos de investigación para tener una visión de las razones del escaso uso en Brasil.

1. INTRODUÇÃO

A madeira se relaciona com o ser humano desde as mais primitivas sociedades. Um dos primeiros materiais a serem trabalhados pelo homem, já foi instrumento de defesa e, em conjunto com o fogo, utilizada na preparação de alimentos, iluminação e aquecimento. Há registros do uso da madeira como matéria prima para embarcações, ferramentas e formas de habitação desde o período Paleolítico, com vestígios, datados de pelo menos 3000 AC.

A maioria das construções em madeira era executada em conjunto com outros materiais, como palha, pedra, barro, até mesmo tiras de pele. Alguns abrigos faziam uso de outras partes da árvore associadas com a madeira, como ramos, folhas, vimes, ervas ou cascas de troncos. Cada civilização, tanto no ocidente quanto no oriente, ao longo da história, criou métodos distintos para a construção em madeira. Fatores como clima, terreno, espécies diferentes de árvores e a própria cultura de cada sociedade foram determinantes para o surgimento de diversos estilos construtivos. Com a evolução das ferramentas, o homem passou a desenvolver técnicas como o alisamento da madeira e a confecção de entalhes, que ajudaram a realizar novos métodos de ligação. O avanço ocorreu também na percepção sobre a madeira; passou-se a ter um domínio maior sobre a direção ideal para trabalhar o material, a manipulação da madeira após a secagem, a eliminação de defeitos, entre outros. Atualmente, o uso da madeira é muito representativo, com a arquitetura sendo fortemente influenciada pelo crescente desenvolvimento da cadeia de produtos engenheirados de madeira (MAHAPATRA *et al.*, 2012 apud SHIGUE, 2018, p. 50).

A madeira no Brasil é um material originalmente utilizado pelos povos indígenas. As árvores são derrubadas em pequenas quantidades para abrir espaço para instalar uma nova aldeia, por exemplo, ou também para confeccionar armas de caça, canoas, instrumentos musicais, tinta e sua habitação.

Na colonização foi utilizada para mobiliários e edificações e apenas na metade do século XIX os primeiros equipamentos para serrarias foram importados da Europa para o Brasil, o que permitiu produtos de maior qualidade, acabamento, precisão e complexidade. No final do século XIX, o estado do Paraná passou a ser ocupado por imigrantes de países europeus, como Alemanha, Polônia, Ucrânia e Rússia. Diversas serrarias passaram a ser instaladas no estado, assim como em Santa Catarina, aproveitando-se da abundância de árvores de grande porte na região. Na década de 30, é instalada no sul do Brasil a *Southern Brazil Lumber and Colonization Company (Lumber Co.)*, que já na década de 40 se torna a maior serraria da América do Sul. Nessa época, também foi instalada na região a Industrial Madeireira Colonizadora Rio Paraná (ou MARIPÁ).

Ainda nas décadas de 40 e 50 do século XX, com o iminente esgotamento florestal, foi instaurado o plantio de eucalipto, araucária e pinus para fins comerciais. Nos anos seguintes, a arquitetura em madeira chegou a seu auge, até que, na década de 60, deu-se a descontinuidade dessa recente cultura construtiva, devido à escassez da matéria-prima. Os preços então aumentaram, diminuiu-se a mão de obra qualificada e estabeleceu-se a hegemonia do concreto. As empresas madeireiras migraram para a região Norte, para que pudessem explorar a floresta amazônica, enquanto a floresta da região Sul era recuperada e replantada.

O território brasileiro apresenta inúmeros aspectos que favorecem o crescimento do mercado da madeira. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2012, apud SHIGUE, 2018, p. 8), em torno de 54,4% do território nacional é coberto por florestas, se colocando somente atrás da Rússia no ranking de países com maior área florestal. Cerca de 1,5% dessa área é formada pelas florestas plantadas,

“[...] responsáveis por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais no Brasil” (IBÁ, 2016, apud SHIGUE, 2018, p. 8). O Brasil também possui florestas plantadas entre as mais produtivas do mundo, produzindo cerca de 40 m³ de hectares por ano. A matéria-prima tropical ainda apresenta vantagem sobre a europeia; “[...] por sua densidade, próxima ou superior a 1 t/m³ em diversas espécies; pela sua resistência às intempéries e aos ataques biológicos por insetos e fungos; pela variedade de cores e texturas.” (GAUZIN-MÜLLER et. al, 2005, p. 10)

A indústria da madeira está crescendo no Brasil, assim como os debates sobre a vantagem de seu uso, presentes atualmente em vários países do mundo. As empresas atuantes na construção civil e no setor florestal se beneficiam igualmente com o crescimento desse mercado, valorizando seus produtos e serviços. Esse desenvolvimento também desperta o interesse de engenheiros, arquitetos e consumidores. Novas empresas no setor da construção em madeira também surgiram nos últimos anos, principalmente as que atuam com madeira industrializada.

Porém, mesmo com a taxa de crescimento, o uso da madeira ainda é pouco expressivo na construção civil. Ainda é incomum que a madeira seja empregada na estrutura principal ou na vedação de edifícios, em comparação com seus usos mais frequentes. As aplicações mais comuns da madeira são andaimes, formas de escoramento para concreto, móveis, esquadrias, pisos, forros e peças de sustentação de coberturas.

A qualidade da matéria prima produzida pelo Brasil também é afetada por esses números. Para o setor de celulose e papel, são necessários apenas plantios de curta duração, com árvores em torno de oito anos. Para o setor de carvão e lenha, não há uma classificação rigorosa do ciclo das árvores. A construção civil exige florestas de longa rotação, acima de 15 anos.

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores, citado por Leite et al. (2017), em 2015, 34% do consumo de madeira foi voltado para produção de papel e celulose; 29% para produção de madeira in natura (toras) por produtores independentes; 14% para carvão vegetal e siderurgia; 6% para painéis de madeira e pisos laminados; 4% para produtos sólidos ou madeira serrada e 3% para outros tipos de produção.

O pouco uso da madeira na construção civil no Brasil é uma consequência de vários fatos que ocorreram ao longo da História. Desde a colonização do Brasil, a vinda de imigrantes vem influenciando a arquitetura de todo o país. Segundo Shigue (2018), os portugueses, por exemplo, não tinham tradição de construção em madeira, de maneira que as construções em suas colônias fossem compostas de fundações em pedra, paredes em alvenaria e coberturas em telhas cerâmicas. A madeira era mais comumente utilizada em móveis, esquadrias, forros, assoalhos e estruturas de telhado. Essas construções, na época, eram realizadas por mão de obra escrava, o que acabou implicando em qualidade e rigor técnico baixos.

Com a chegada de outros imigrantes, foi trazido também o ofício da carpintaria, passado de geração em geração, transmitindo o conhecimento da construção em madeira ao longo dos anos. Porém, a informação sobre esse modo construtivo foi se tornando escassa, já que o ofício da carpintaria foi sendo descontinuado. A mão de obra passou a ser substituída pela nacional, pessoas que se mudaram para a cidade, vindas de zonas rurais, que não aprenderam o ofício. “Mesmo no período de auge das construções em madeira não houve a implantação de escolas e centros de capacitação, principalmente a nível técnico para a atuação no beneficiamento e industrialização desta matéria-prima.” (SHIGUE, 2018)

Ao longo do século XX, a principal causa da despopularização do uso da madeira na construção civil foi a instauração e consolidação da cultura do concreto no Brasil. Esse material passou a representar o movimento moderno, e foi símbolo de progresso e ascensão social em diversos países. O concreto se tornou o principal material construtivo do Brasil, principalmente com a construção de Brasília, nos anos 60. Era visto como um material mais seguro, versátil e eficiente. Passou a ser usado principalmente em obras de infraestrutura e edificações de múltiplos pavimentos.

Além dessas razões, a consolidação do concreto se deu pela grande demanda criada, fabricação em grande escala industrial e a organização entre os setores que o fabricavam. As empresas de concreto são de grande porte e de pequeno número no Brasil, por isso a união destas é facilitada. Também possuem um histórico de desenvolvimento em pesquisas e incentivos governamentais, o que possibilitou que fossem unificadas as normas de cálculo. “A própria Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), instituída em 1940, foi concretizada a partir dos esforços para a normatização do concreto no país.” (SHIGUE, 2018)

Outro fator importante trata-se das construções com concreto não necessitarem de mão de obra tão especializada quanto a madeira, o que fez com que o concreto fosse privilegiado nas grades curriculares de escolas de arquitetura e engenharia.

No caso da madeira, observa-se uma falta de articulação entre os agentes da cadeia produtiva, desde o setor florestal até as serrarias, que são dispersas e de porte pequeno. A indústria da madeira no Brasil era até então desunida, o que dificulta o desenvolvimento de normas técnicas que possam uniformizar a produção em grande escala.

“A falta de comunicação entre seus elos faz com que, por exemplo, empresas que atuam no subsetor de base florestal não encontrem compradores para seus produtos, sendo necessário exportá-los, enquanto na outra ponta da cadeia existe a dificuldade em encontrar certas especificações de madeira, justamente porque estes produtos são destinados à exportação.” (SHIGUE, 2018)

O Brasil também apresenta certa defasagem tecnológica perante outros países, e as iniciativas para o estabelecimento da cultura de construção em madeira foram insuficientes, incapazes de impulsionar o uso dessa matéria prima. A falta de conhecimento sobre o material acaba reforçando a imagem pejorativa que é ainda hoje associada à madeira. Há uma percepção de que esse tipo de construção ou é muito simples ou é extremamente sofisticada, afastando o público leigo e até mesmo os profissionais, gerando uma falta de demanda e também de oferta.

Apesar de ainda ser pequeno o uso desse material no Brasil, o país ainda tem grandes perspectivas para esse setor. As vantagens mencionadas anteriormente colocam o país em

uma ótima posição competitiva, e é preciso contornar os impeditivos para uma maior difusão da madeira. O conhecimento sobre os benefícios das construções em madeira precisa ser difundido, e o mercado consumidor deve ser instruído, por meio de ações de promoção do material, divulgação de projetos, campanhas educativas e incentivos a pesquisas e políticas públicas, para que a demanda possa aumentar.

Para aumentar a oferta, é necessário que cursos de engenharia e arquitetura abram maior espaço para a madeira em sua grade curricular, para formar profissionais capacitados, que poderão explorar o potencial que esse material oferece, bem como suas técnicas de projeto. O setor florestal e a construção civil precisam estar mais articulados e as legislações precisam ser atualizadas, com normas técnicas específicas para a madeira atualizadas e publicadas. Com isso, as serrarias poderiam ter o conhecimento mais unificado, adquirindo mais, padronização e competitividade no mercado.

As publicações mais recentes mostram que as pesquisas realizadas nos centros universitários tratam exclusivamente de aspectos técnicos, como a classificação de espécies em relação à resistência, avaliação mecânica de elementos com relação ao tipo de adesivo. No primeiro grupo de pesquisa, podem ser citados os trabalhos de Carrasco; Teixeira (2012), Segundinho et al. (2013a, 2013b), Cunha; Matos (2010), Rosa et al. (2020).

A segunda linha de pesquisa, mais específica à avaliação de elementos de MLC podem ser selecionados os trabalhos de Teles et al. (2010), Cunha; Matos (2010, 2011), Calil Neto et al. (2014), Petruski et al. (2016), Molina et al. (2016), Segundinho et al. (2017), Mascia et al. (2018), Faria et al. (2019, 2020).

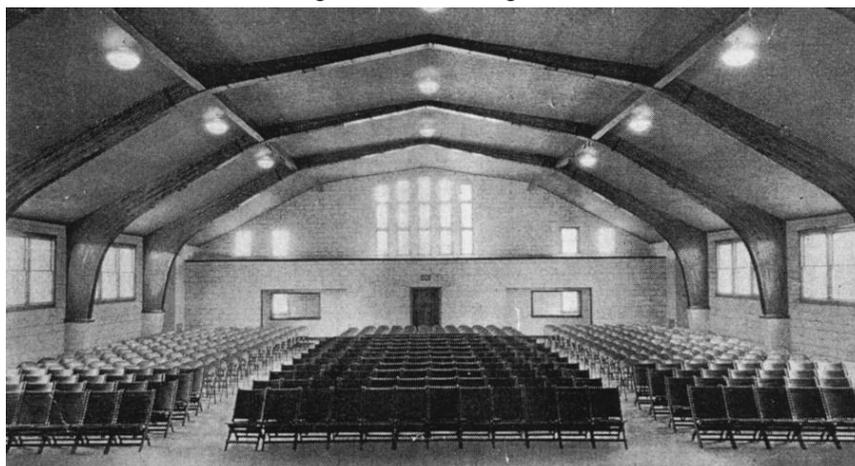
Qualquer publicação que aborde temas mais sugestivos para os estudantes de cursos de graduação de Engenharia Civil e de Arquitetura e Urbanismo seriam fundamentais para que possam ser utilizados pelos docentes para incentivar sua utilização prática, estimular a indústria e o desenvolvimento de projetos.

2. EXEMPLOS PIONEIROS

O registro da primeira aparição da Madeira Laminada Colada na história foi em meados de 1890, com a construção de vigas com vão livre de 10 metros. Em 1901, o mestre-carpinteiro alemão Otto Hetzer realiza a patente de vigas retas compostas por lâminas de pequena espessura, unidas por uma cola à base de caseína. Em 1906, realiza a patente das peças curvas de Madeira Laminada Colada. Seu sistema construtivo recebeu vários prêmios, principalmente por viabilizar a construção de grandes vãos.

Com o desenvolvimento dos adesivos à prova d'água, foram ampliadas as possibilidades de aplicação da MLC. Segundo Russell et al (1999, apud GRANATO, 2011), a partir de 1913 o sistema ganhou maior evidência com a construção de uma estrutura de cobertura com 43 metros de vão. Segundo Lehman (2018), a MLC chegou pela primeira vez na América em 1934, quando Max Hanisch, arquiteto e engenheiro alemão, implantou o material na construção de um ginásio escolar em Peshtigo, Wisconsin (Figura 1).

Figura 1 - Interior do ginásio



Fonte: Website da Forest History Society¹

No Brasil, um importante projeto em MLC é a moradia de alunos da Fundação Bradesco (Figura 2), localizada na zona rural de Formoso do Araguaia, em Tocantins. Foi inaugurada em 2016, projetada por Marcelo Rosembaum e Adriana Benguela da Rosembaum, Gustavo Utrabo e Pedro Duschenes da Aleph Zero, e Hélio Olga e Daniel Salvatore, da Ita Construtora. O projeto é um internato que abriga 540 crianças e adolescentes e foi vencedor do Prêmio de Arquitetura Instituto Tomie Ohtake Akzonobel.

Figura 2 - Fundação Bradesco, Formoso do Araguaia, Tocantins.



Fonte: Website Arco²

¹ Disponível em: <<https://foresthistor.org/october-15-1934-glued-laminated-timber-comes-to-america/>>

² Disponível em: <<https://www.arcoweb.com.br/noticias/arquitetura/9-projetos-em-estrutura-de-madeira>>

No Brasil, a primeira fábrica de vigas de MLC foi a Esmara Estruturas de Madeira Ltda., inaugurada em 1934, no município de Curitiba, no Paraná. Foi fundada por dois irmãos de origem alemã, que em 1954 se separaram para formar duas empresas diferentes. Uma delas permaneceu com o mesmo nome, a Esmara passou a se localizar em Viamão, no Rio Grande do Sul. Na década de 60, é instalada a Laminarco Madeira Industrial, em São Paulo – SP, sendo a primeira fábrica da região sudeste.

Alguns anos depois, duas novas fábricas foram instaladas no estado do Paraná; a Prémontal Estruturas de Madeira, fundada em Curitiba em 1977, e a Emadel Estruturas de Madeira, fundada em Araucária em 1981. As empresas mencionadas faziam uso de madeiras do gênero Pinus e Eucalipto. A partir dos anos 80, a indústria de MLC parou de se desenvolver, principalmente pela falta de divulgação da tecnologia e pelo não desenvolvimento de normas específicas.

Nessa época, é fundada a Ita Construtora, uma das maiores empresas no ramo até hoje, que recebeu uma visita à fábrica localizada em Vargem Grande Paulista, no interior do estado de São Paulo.

O escasso uso de Madeira Laminada Colada no Brasil, atualmente sendo denominada Madeira Lamelada Colada, pode ser atribuído às mesmas razões do pouco uso de madeira em geral nas construções brasileiras, com alguns agravantes. Um dos principais motivos é o alto custo e a baixa demanda. A MLC possui um custo superior aos materiais mais comuns no mercado, como o aço e o concreto. Dessa maneira, a maior parte das construções em MLC são de alto padrão. O preço, porém, é elevado justamente pela pequena quantidade de produção e demanda, tornando a baixa utilização da MLC um eterno ciclo.

Para contornar esse problema, é necessário investir na industrialização e produção em larga escala, e é muito arriscado fazê-lo sem a garantia de que haverá demanda suficiente. Como já mencionado, outra necessidade que a construção em MLC e em madeira em geral apresentam é a de uma maior capacitação da mão de obra. A resolução deste problema seria possível aumentando o número de cursos técnicos e superiores, e adicionando disciplinas aos cursos existentes, para formar profissionais que dominam a técnica de projeto e execução no material. Segundo Leite et al. (2017), outro fator que eleva o valor da peça final é a ausência de um adesivo de fabricação brasileira que seja competitivo no mercado. Os mais utilizados são os de origem estrangeira, que são mais custosos devido à necessidade de importação.

3. MADEIRA LAMINADA COLADA

Uma peça de Madeira Laminada Colada é composta por lâminas de madeira serrada, coladas entre si com um adesivo certificado para uso estrutural à prova d'água, e dispostas de tal forma que a orientação das fibras sejam paralelas ao eixo longitudinal da peça final. É um material bastante versátil e resistente, que permite construções de diversos formatos e dimensões, com peças retas, curvas ou com seção variável. Possuem baixo peso próprio e alta resistência mecânica.

A MLC pode ser utilizada para os mais variados fins. Pode fazer parte de estruturas, como vigas, pilares e coberturas, possibilitando a construção até mesmo de pontes, estádios e edifícios de múltiplos pavimentos. Também pode ser usada em escadarias, rampas, corrimões, ornamentos, móveis, entre outros. Quando aplicada a estruturas, recebe a classificação de

massive timber ou mass timber, termo que se refere a produtos em madeira engenheirada (Engineered Wood Product ou EWP) de grandes dimensões.

3.1 Vantagens e Desvantagens da MLC

A Madeira Laminada Colada apresenta as mesmas vantagens da madeira maciça perante os outros materiais, e alguns pontos positivos adicionais. *“A grande vantagem da MLC é a possibilidade da utilização de lâminas de melhor qualidade nas regiões de alta solicitação e lâminas de qualidade inferior nas regiões de menor solicitação” (GRANATO, 2011).* Com lâminas de menor dimensão, é possível obter maior precisão na classificação de defeitos como nós e medulas, trazendo maior confiabilidade em comparação à madeira maciça. Outra vantagem é que o peso próprio da MLC é relativamente baixo, se comparado ao aço e o concreto, o que gera economia na execução das fundações, ainda garantindo excelente resistência.

Possui capacidade para vencer grandes vãos, e sua própria liberdade de formas, variedade de soluções construtivas e alcance de grandes dimensões se apresentam como vantagens em relação à madeira maciça, que é limitada pelo comprimento da árvore de onde foi retirada a tora. A MLC também apresenta melhor resistência mecânica a esforços de tração, compressão e flexão, incorporada à cola usada em sua confecção e pela modelagem adequada das peças. Isso permite também peças mais esbeltas do que as de madeira serrada.

Seu processo de secagem também é mais rápido, já que o volume de madeira em uma lâmina é menor do que em uma tora inteiriça, portanto é menos sujeita a sofrer alterações físicas por umidade. O alto grau de pré-fabricação da MLC também garante eficiência em vários aspectos. Proporciona peças usinadas com precisão milimétrica, velocidade e facilidade no transporte e na montagem no canteiro, limpeza e redução de desperdício na fabricação e na construção, economia de tempo e preço de entrega fechado.

Atualmente, é sabido que o ideal é utilizar a madeira maciça principalmente em mobiliário, caixilharia, pisos e brises, pois o mais indicado para uma estrutura de construção em madeira é a Madeira Laminada Colada. Porém, a MLC apresenta algumas desvantagens sobre a madeira serrada. As técnicas de produção e execução de projetos em MLC são muito mais dispendiosas do que as que utilizam a madeira maciça. Exigem uma mão de obra muito mais especializada e equipamentos específicos, que também são custosos. A Madeira Laminada Colada ainda é pouco conhecida no Brasil, o que dificulta sua aplicação em grande escala.

3.2 Dados técnicos da MLC

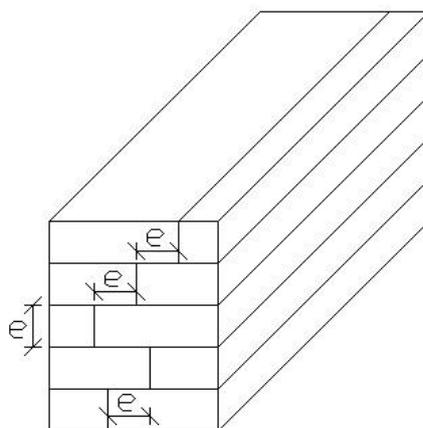
Um elemento de MLC é composto por: lâminas, linhas adesivas, emendas transversais e emendas longitudinais. As lâminas geralmente possuem espessura de 2,5 cm a 5,0 cm, observando-se a altura e a curvatura desejadas para a peça final. Em peças curvas, a espessura deve ser proporcional ao raio de curvatura da lâmina em sua face interna. Segundo a NBR 7190:2011, cada lâmina deve ter o comprimento mínimo de 100 cm, e largura entre 5 cm e 20 cm. *“A lâmina de madeira com densidade de até 0,50 g/cm³ pode apresentar área da seção*

transversal máxima de 60 cm². Madeiras com densidade maior do que 0,50 g/cm² poderão apresentar área máxima da seção transversal de 40 cm²” (NBR 7190:2011).

Os adesivos são variados, e devem ser escolhidos de acordo com o modo de instalação, a forma final da peça, os tipos de ligação com outras peças, o ambiente onde esta será fixada e a espécie da madeira, seguindo sempre a recomendação do fabricante. A NBR 7190:2011 não é exclusiva para a Madeira Laminada Colada, mas engloba os principais procedimentos que envolvem sua fabricação. “As normas estrangeiras são dedicadas exclusivamente para a MLC e apresentam detalhadamente o passo a passo da produção, orientando melhor o produtor e promovendo o aumento da eficiência da unidade fabril.” (GRANATO, 2011)

As emendas transversais são utilizadas com o objetivo de se obter uma lâmina de largura superior à da lâmina simples, mas de acordo com a norma AITC A190.1:2007, citada por Granato (2011), a colagem da emenda transversal não é necessária, exceto nas situações em que o calculista determina a necessidade estrutural deste tipo de colagem. Se estas emendas não são coladas, devem ser dispostas de forma escalonada, com a distância mínima do tamanho da largura de uma lâmina simples (Figura 3).

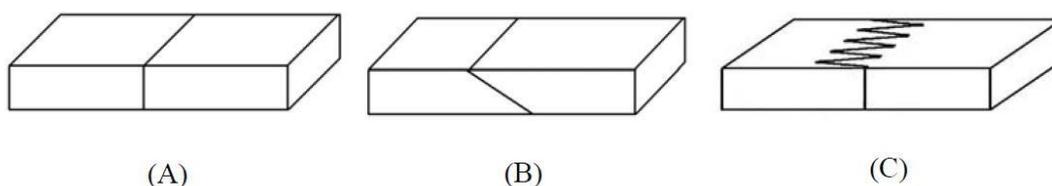
Figura 3 - Detalhe do escalonamento das emendas.



(Fonte: GRANATO, 2011)

As emendas longitudinais são utilizadas com o objetivo de se obter uma lâmina de comprimento superior à da lâmina simples, sendo possível alcançar grandes comprimentos. Os principais tipos de emendas longitudinais são (Figura 4): topo (ou butt-joint), biseladas (ou scarf-joint) e dentadas (finger-joint).

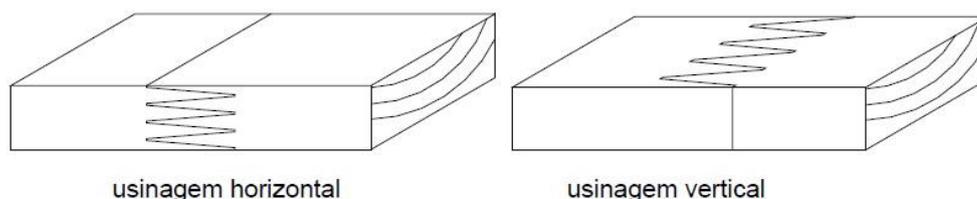
Figura 4 - Tipos de emendas longitudinais: emenda de topo (A), emenda biselada (B) e emenda dentada (C).



(Fonte: AZAMBUJA, 2006, apud GRANATO, 2011)

A emenda de topo não possui alta eficiência, pois pela baixa resistência à tração não possui colagem satisfatória, apesar de ser de simples execução. A emenda biselada possui maior resistência à tração, mas por ter que ser cortada com uma inclinação muito baixa, pode ser custoso realizá-la. A emenda mais utilizada é a dentada, por conter entalhes múltiplos e maior área de colagem, sanando as deficiências dos dois outros tipos. Sua usinagem pode ser realizada na direção horizontal ou vertical, a depender da orientação da peça final (Figura 5).

Figura 5 - Tipos de usinagem das emendas dentadas



(Fonte: ABNT-NBR 7190:2011, apud GRANATO, 2011)

A primeira etapa da produção de uma peça de MLC, como mencionado no item 3.4.1, é o recebimento e estocagem da madeira (Figura 6), seguido da verificação do teor de umidade. Em seguida, a madeira é classificada de acordo com sua rigidez, para que cada régua seja utilizada em determinada parte da peça final, para garantir melhor eficiência e resistência mecânica ao produto. Na Ita Construtora, as régua são refiladas para a obtenção de tábuas em larguras padronizadas pela empresa, sendo estas 4, 6, 8, 12, 15 e 18cm.

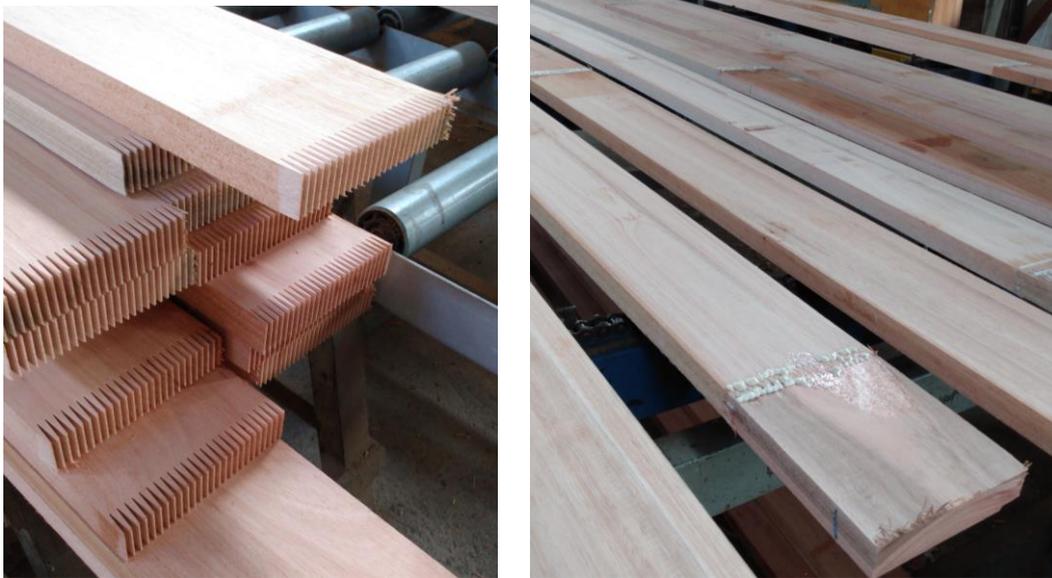
Figura 6 - Estocagem da madeira recebida pela Ita Construtora e cortadas nas dimensões desejadas em projeto.



Fonte: Fotografia tirada na fábrica da Ita Construtora. Autoria própria.

Depois, as peças são analisadas e otimizadas, para a eliminação de eventuais defeitos, como nós, rachaduras, inclinação das fibras, encurvamento, torcimento, entre outros. Só então ocorre a execução e colagem das emendas. Na Ita, a madeira é usinada em suas extremidades com o formato da emenda *finger-joint* (Figura 7), obedecendo a padrões rigorosos e normatização específica e coladas para obterem peças de maiores comprimentos, além do usual.

Figura 7 - Emenda usinada no formato *finger-joint* e emendas sendo coladas



Fonte: Fotografia tirada na fábrica da Ita Construtora. Autoria própria.

Em seguida, as peças são aparelhadas, para que seja retirado o excesso da cola e para aplainar as lâminas na espessura padrão de 30 mm. Nessa etapa, as peças passam novamente por uma avaliação do teor de umidade, e também por um controle de variação de espessura, para cumprir as especificações do adesivo utilizado na colagem. As lâminas então são coladas entre si com um adesivo de poliuretano, de acordo com a dimensão da peça final exigida no projeto.

Após a aplicação da cola, as lâminas são dispostas em uma prensa por aproximadamente uma hora e meia (Figura 8).

Figura 8 - Colagem e prensagem das lâminas.

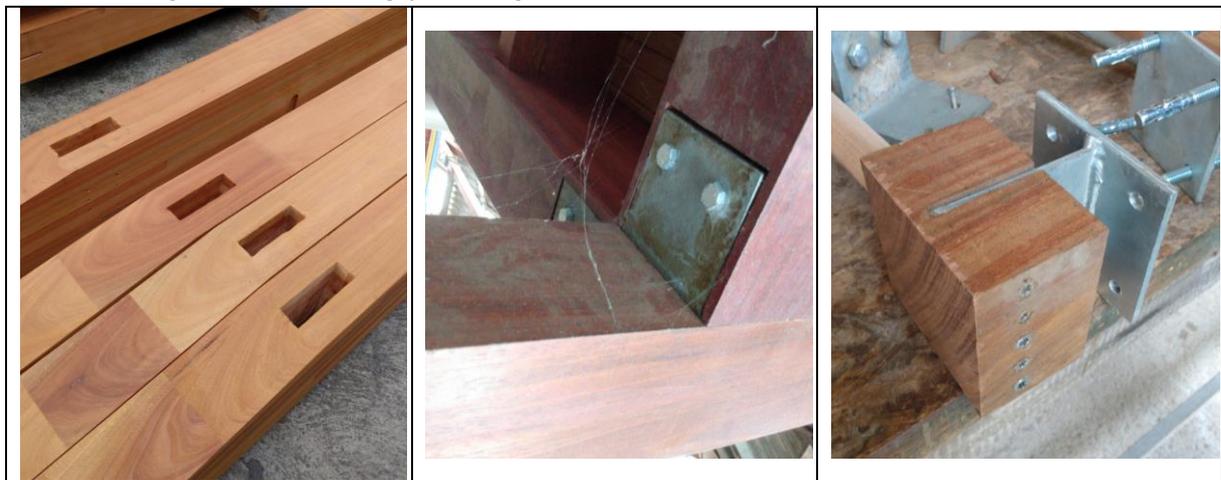


Fonte: Fotografia tirada na fábrica da Ita Construtora. Acervo próprio.

Quando secas, as peças vão para outro local para realizar o processo de usinagem, para retirar o excesso de cola e aplainar a peça. Nessa etapa, os modelos tridimensionais do projeto são exportados para o computador central, ligado às máquinas de usinagem, para que cada peça seja modificada de modo a obter o formato exigido pelo desenho. Algumas peças ainda exigem acabamentos à mão.

A etapa seguinte é a inserção de ferragens. O aço é inserido na madeira para a proteção do metal contra incêndios, além de ocorrer uma melhor distribuição de cargas, e por questões estéticas. Alguns encaixes podem ser realizados com a própria madeira, na qual uma parte salientada do pilar se encaixa numa cavidade feita na viga (Figura 9). Para a ligação do pilar à fundação, utiliza-se a placa de base que também garante que a madeira se mantenha desconectada do piso, como é recomendado. Para facilitar a montagem no canteiro, a maior parte das ferragens é inserida na fábrica.

Figura 9 – Detalhes de ligações nas vigas e colunas, como cavidades e conexões metálicas.



Fonte: Fotografia tirada na fábrica da Ita Construtora. Acervo próprio.

As conexões metálicas entre as estruturas recebem proteção contra a oxidação e atualmente procura-se inseri-las na madeira, o que protege o aço contra incêndios e deixa a estrutura mais agradável esteticamente.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho procurou-se apresentar a atual situação da Madeira Laminada Colada, Madeira Lamelada Colada, reconhecendo-a como um material de excelência, com muito potencial para ser aplicado no Brasil na construção civil, principalmente pelos seus aspectos arquitetônicos e até então sub aproveitado.

A principal característica para esse potencial ser destacado é devido ao grande número de florestas e pelo clima propício existente no Brasil. É um material com muitas vantagens perante outros na construção civil, devido à alta capacidade de resistência e variabilidade de aplicações e formas. Também possui grande apelo para a sustentabilidade, sendo um material renovável na natureza, e sua fabricação não gera grandes quantidades de gases poluentes.

Foi visto que, no Brasil, seria necessário difundir o conhecimento sobre o material, abordando o assunto em universidades e cursos, para que fosse mais amplamente projetado e produzido. Mostra-se um material que tem sua pesquisa avançada em alguns centros universitários, o que garante segurança e confiabilidade em sua aplicação industrial.

Assim, a demanda pelo material aumentaria, e os preços de produção seriam diminuídos, e os produtores poderiam ter uma escala de produção mais ampla. Seria preciso também que as normas fossem mais específicas para a Madeira Laminada Colada, facilitando o estudo sobre o material e sua fabricação e construção.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP pelo auxílio recebido para realização da pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

BATISTA, F. D. **A tecnologia construtiva em madeira na região de Curitiba: da casa tradicional à contemporânea**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

CALIL JUNIOR, C.; ROCCO LAHR, F.; DIAS, A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. Barueri, Manole, 2003.

CALIL NETO, C.; CHRISTOFORO, A. L.; RIBEIRO FILHO, S. L. M.; LAHR, F. A. R.; CALIL JUNIOR, C. Avaliação da resistência ao cisalhamento e à delaminação em madeira laminada colada - *Ciência Florestal*; 24(4); 989-996; 2014-12

CARRASCO, E. V. M.; TEIXEIRA, A. R. Methodology for inspection of wood pathologie using ultrasonic pulses - *CERNE*; 18(3); 479-486; 2012-09

CUNHA, A. B.; MATOS, J. L. M. Avaliação da rigidez de vigas estruturais de madeira laminada colada unidas por adesivo poliuretano - *CERNE*; 17(4); 593-600; 2011-12

CUNHA, A. B.; MATOS, J. L. M. Determinação do módulo de elasticidade em madeira laminada colada por meio de ensaio não destrutivo (stress wave timer) - Revista *Árvore*; 34(2); 345-354; 2010-04

CUNHA, A. B.; MATOS, J. L. M. Rigidez e resistência de vigas estruturais de madeira laminada colada e com perfil i compostas por diferentes adesivos - *Ciência Florestal*; 20(2); 345-356; 2010-06

EGAS, L. **Análise pluridimensional da sustentabilidade do ciclo de vida de um sistema estrutural de cobertura em madeira de Pinus. Caso: assentamento rural Pirituba II.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008.

FARIA, D. L.; CRUZ, T. M.; MESQUITA JÚNIOR, L.; DUARTE, P. J.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. Number of laminae on the mechanical behavior of glued laminated timber (glulam) of *Toona ciliata* produced with vegetable polyurethane adhesive - *Ciência e Agrotecnologia*; 43(); -; 2019

FARIA, D. L.; CRUZ, T. M.; DIAS, M. C.; DUARTE, P. J.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B. Physical and mechanical behavior of glulam beams produced with rubberwood treated with preservatives - *Ciência e Agrotecnologia*; 44(); -; 2020

GAUZIN-MÜLLER, D.; MARTINS, A.; WISNIK, G. **Madeira Como Estrutura - A História da Ita.** 1. ed. Brasil: Parallaxe, 2005. 152 p. ISBN 8585298251.

GRANATO, A. F. **Aspectos tecnológicos da fabricação de elementos estruturais de madeira laminada colada.** Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2011.

HOFFMANN, A. C. A Técnica de se Construir em Madeira: Um Legado do Patrimônio Cultural Para a Cidade de Maringá. **Anais:** Congresso Internacional de História, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Madeira: uso sustentável na construção civil.** São Paulo: SindusCon-SP, 2003.

LEHMAN, E. October 15, 1934: **Glued Laminated Timber Comes to America.** Forest History Society, [S.l.]. 2018. Disponível em: <<https://foresthistor.org/october-15-1934-glued-laminated-timber-comes-to-america/>> Acesso em: Setembro 2019.

LEITE, T. M.; SANTOS, P. A. F. M.; VALLE, I. M. R. **O Uso da Madeira Laminada Colada no Brasil: Panorama e Desafios.** Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina, 2017.

LOURENÇO, P. B.; BRANCO, J. M. Dos Abrigos da Pré-História aos Edifícios de Madeira do Século XXI. In: MELO, A. S.; RIBEIRO, M. C. (coord.). **História da Construção – Arquiteturas e Técnicas Construtivas.** [S. l.]: Centro de Investigação Transdisciplinar «Cultura, Espaço e Memória» (CITCEM), 2013. p. 199-212. ISBN 978-989-8612-08-3.

MADEIRA E TECNOLOGIA. Ita Construtora, [S.l.], c2014. Disponível em: <<http://www.itaconstrutora.com.br/madeira-e-tecnologia/#>> Acesso em: Junho 2019.

MASCIA, N. T.; BERTOLINE, C. A. A.; BASÁGLIA, C. D.; DONADON, B. F.. Numerical analysis of glued laminated timber beams reinforced by Vectran fibers - *Ambiente Construído*; 18(3); 359-373; 2018-09

MOLINA, J. C.; CALIL NETO, C.; CHRISTOFORO, A. L. Resistência à tração de emendas dentadas de madeira de *Manilkara huberi* para o emprego em madeira laminada colada - *Ambiente Construído*; 16(1); 221-227; 2016-01

MOODY, R. C.; HERNANDEZ, R. Glued-Laminated Timber. In: SMULSKI, S. **Engineered Wood Products - A Guide for Specifiers, Designers and Users.** PFS Research Foundation. Madison, Wisconsin, EUA, 1997. ISBN-096556736-0-X

MOREIRA, F. Madeira Laminada Colada. Guia da Obra, [S.l.]. 4 de fev. de 2016. Disponível em: <<http://www.guiadaobra.net/madeira-laminada-colada-903/>> Acesso em: Abril 2017.

NUNES, G. G. **Dimensionamento de uma cobertura de madeira laminada colada**. Trabalho de Conclusão de Curso . Graduação em Engenharia de Infraestrutura. Universidade Federal de Santa Catarina – Campus de Joinville. Joinville, 2015.

OLGA, H.; FERNANDES, D. S. **Wooden Structures in Brazil: Present Situation and Perspectives**. World Conference on Timber Engineering. Quebec, Canada, 2014.

PETRAUSKI, S. M. F. C.; SILVA, J. C.; PETRAUSKI, A.; LUCIA, R. M. D. Analysis of eucalyptus glued-laminated timber porticos structural performance - Revista Árvore; 40(5); 931-939; 2016-10

PFEIL, M.; PFEIL, W. **Estruturas de madeiras: dimensionamento segundo a norma brasileira NBR 7190/97 e critérios das normas norte-americana NDS e européia Eurocode 5**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

POR UM MUNDO SUSTENTÁVEL. Ita Construtora, [S.l.], c2014. Disponível em: <<http://www.itaconstrutora.com.br/por-um-mundo-sustentavel/>> Acesso em: Junho 2019.

PRADA, O. J. **Pré-fabricação e comportamento de vigas "I" em madeira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

ROSA, T. O.; VIEIRA, H. C.; TEREZO, R. F.; CUNHA, A. B.; SAMPAIO, C. A. P.; ZANGALI, C.; ROSA, G. O.; WALTRICK, D. Classificação visual e mecânica da espécie *Cryptomeria japonica* D. Don para utilização em madeira laminada colada - Ciência Florestal; 30(2); 451-462; 2020-04

SEGUNDINHO, P. G. A.; CARREIRA, M. R.; CALIL NETO, C.; REGAZZI, A. J.; DIAS, A. A.; CALIL JUNIOR, C. Avaliação do módulo de elasticidade de peças de madeira laminada colada (MLC) obtido por meio do ensaio de vibração transversal - Ambiente Construído; 13(2); 7-14; 2013-06

SEGUNDINHO, P. G. A.; GONÇALVES, F. G.; GAVA, G. C.; TINTI, V. P.; ALVES, S. D.; REGAZZI, A. J. - Eficiência da colagem de madeira tratada de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell para produção de madeira laminada colada (MLC) - Matéria (Rio de Janeiro); 22(2); -; 2017

SEGUNDINHO, P. G. A.; ZANGIÁCOMO, A. L.; CARREIRA, M. R.; DIAS, A. A.; LAHR, F. A. R. - Avaliação de vigas de madeira laminada colada de cedrinho (*Erismia uncinatum* Warm.) - CERNE; 19(3); 441-449; 2013-09

SHIGUE, E. K. **Difusão da Construção em Madeira no Brasil: Agentes, Ações e Produtos**. 250 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

SOLUÇÕES. Ita Construtora, [S.l.], c2014. Disponível em: <<http://www.itaconstrutora.com.br/solucoes/>> Acesso em: Junho 2019.

SZÜCS, C. A. et al. **Estruturas de Madeira**. Versão 2. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: 2008.

TELES, R. F.; DEL MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, M. R.; SOUZA, F. - Effect of nondestructive testing of laminations on the bending properties of glulam beams made from louro-vermelho (*Sextonia rubra*) - CERNE; 16(1); 77-85; 2010-03

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. Forest Products Laboratory**, Madison, Wisconsin, EUA, 2010.

VANTAGENS DA MADEIRA LAMINADA COLADA. Calil Madeiras, [S.l.]. Disponível em: <<http://madeiralaminadacolada.com/vantagens-mlc.php>> Acesso em: Abril 2017.

ZANGIÁCOMO, A. L. **Emprego de Espécies Tropicais Alternativas na Produção de Elemento Estruturais de Madeira Laminada Colada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.