



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC) UM MATERIAL SUSTENTÁVEL PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

Claudia Rebechi Yokota, UEM, claudiarebechi@hotmail.com
Germano Francisco Simon Romera, UEM, gfsromera2@uem.br
Leandro Vanalli, UEM, leovanalli@yahoo.com.br

Resumo

A construção civil é um importante setor para a economia do país, mas também é um grande consumidor de recursos naturais e energia e, diante disso, para que ocorra o desenvolvimento sustentável, é necessário pensar em inovações no setor com foco na sustentabilidade. A tecnologia das madeiras engenheiradas possibilita construções mais sustentáveis, utilizando a madeira, visto que é um material de fonte renovável. O presente trabalho visa compreender, aplicando o método de abordagem hipotético-dedutivo, as características da madeira engenheirada, o seu vasto potencial dentro da Construção Civil como um material sustentável, os tipos de madeira engenheirada (como a MLC), seu processo de fabricação e uma análise de viabilidade econômica da utilização da MLC na região Noroeste do Paraná. Observou-se que a madeira é o único material de construção que capta gás carbônico durante sua produção e o gasto energético para a sua fabricação é menor, quando comparado ao aço e ao concreto. Para a análise de viabilidade concluiu-se que a MLC apresenta algumas vantagens, mas, no aspecto econômico, para a região estudada, devido a alguns fatores, apresenta um custo cinco vezes superior ao custo da construção com concreto pré-moldado e três vezes maior que o custo da construção com aço.

Palavras-chave: sustentabilidade, madeira, madeira engenheirada, MLC.

1. Introdução

A construção civil está presente em todos os lugares ocupados pelo homem, sejam em edifícios, rodovias, pontes, infraestruturas elétrica e hidráulica. É um setor de grande importância para a economia do Brasil, grande consumidor de recursos naturais, e consequentemente, causador de impactos ambientais.

Um material considerado sustentável que pode ser utilizado nas edificações é a madeira, um recurso de fonte renovável, que pode ser produzido em áreas de reflorestamento, com técnicas de manejo de florestas. Devido a sua beleza, rigidez e resistência, a madeira é muito empregada nas construções (CORDEIRO JUNIOR; SILVA; SOARES, 2017), porém não é muito utilizada na estrutura principal das edificações, como em vigas e pilares. No Brasil, o sistema construtivo mais usual é formado por vigas e pilares de concreto armado ou aço, devido a razões culturais e o maior domínio das técnicas construtivas desses materiais.

Segundo Cordeiro Júnior, Silva, Soares (2017) outro aspecto que influencia o pouco uso da madeira em elementos estruturais é a sensibilidade de algumas das suas propriedades fisi-



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

cas, frente a fatores como sua combustibilidade, suscetibilidade à umidade e ao ataque de organismos xilófagos, que se alimentam da madeira, causando preconceito ao emprego estrutural. Porém, com os avanços tecnológicos, existem tratamentos para todos os problemas que podem limitar o seu uso.

Neste contexto, novas técnicas e pesquisas surgem para aumentar o uso da madeira como elemento estrutural, sendo que atualmente, as chamadas madeiras engenheiradas, assim chamadas por passarem por processos industriais que melhoram suas propriedades construtivas, têm aumentado a credibilidade do emprego da mesma.

Diante disso, o presente trabalho visa compreender, aplicando o método de abordagem hipotético-dedutivo, as características da madeira engenheirada, o seu vasto potencial dentro da construção civil como um material sustentável, os tipos de madeira engenheirada, seu processo de fabricação e uma análise de viabilidade econômica da utilização de elementos estruturais de MLC na região Noroeste do Paraná.

2. Fundamentação teórica

2.1. Madeira na construção civil sustentável

As atividades humanas estão causando vários impactos ao meio ambiente e na atividade da construção civil não é diferente. De acordo com Marques (2008) alguns dos impactos desse setor são: geração de resíduos; consumo de energia; emissões de CO₂ e o consumo de recursos naturais.

Pensar em construções sustentáveis com o menor impacto possível é importante diante do crescimento dos danos ambientais, uma forma de tornar isso possível é com a escolha de materiais que atendam critérios de sustentabilidade como: materiais de fontes renováveis, não poluentes e tóxicos; serem duráveis, podendo ser reutilizado, reciclado ou com menor desperdício; menor custo energético, social, ambiental e econômico e não afetar a saúde (MARQUES, 2008).

Atualmente os materiais mais utilizados nas construções do Brasil são o concreto armado e o aço. No entanto, esses insumos apresentam algumas desvantagens relacionadas a sustentabilidade, como a geração de gás carbônico no processo de fabricação e os danos ambientais causado pela atividade de mineração durante a extração da matéria-prima (KOLB, 2012).

A madeira é utilizada pelo homem, como insumo para a construção civil, há muito tempo e de diversas formas, desde fôrmas para concreto até estruturas de cobertura. Possui um bom desempenho estrutural, é um isolante térmico, acústico, elétrico e apresenta boa resistência ao fogo (MARTINS, 2016). É um recurso natural com alto desempenho e com vantagens para o desenvolvimento sustentável, visto que utiliza a energia solar na sua produção, uma energia limpa, renovável e realiza o processo de retirada de gás carbônico da atmosfera, colaborando para a redução do aquecimento global (KOLB, 2012). Segundo o WWF¹ (2016), o

¹ O *World Wildlife Fund For Nature* - WWF Brasil é uma organização de natureza não-governamental, que tem como objetivo a conservação da natureza dentro do contexto brasileiro social e econômico.



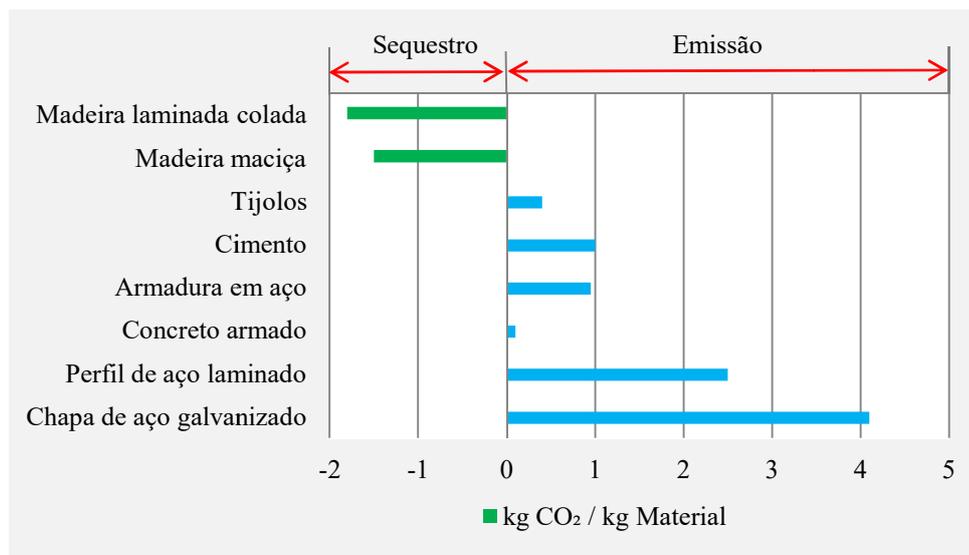
III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

setor da construção civil é responsável por 47% das emissões, do mundo, de gases causadores do efeito estufa (CO₂).

Petersen e Solberg (2002) realizaram um estudo comparando as emissões de gases do efeito estufa (GEE) na produção de vigas de MLC e vigas de aço. Os autores concluíram que a fabricação das vigas MLC causou um quinto das emissões de gases de efeito estufa (GEE) em relação à fabricação das vigas de aço e o uso de combustível fóssil foi seis a doze vezes maior na fabricação das vigas de aço do que para as vigas de MLC.

Kolb (2021) também realizou um estudo analisando as emissões de CO₂ durante a produção de diferentes materiais de construção e observou que na produção da madeira maciça e da madeira laminada colada o gás carbônico é armazenado, diferente de todos os outros materiais analisados que emitem esse gás para a atmosfera (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Comparação de emissões de dióxido de carbono durante a produção de diferentes materiais



Fonte: Kolb (2012) adaptado pela autora (2021).

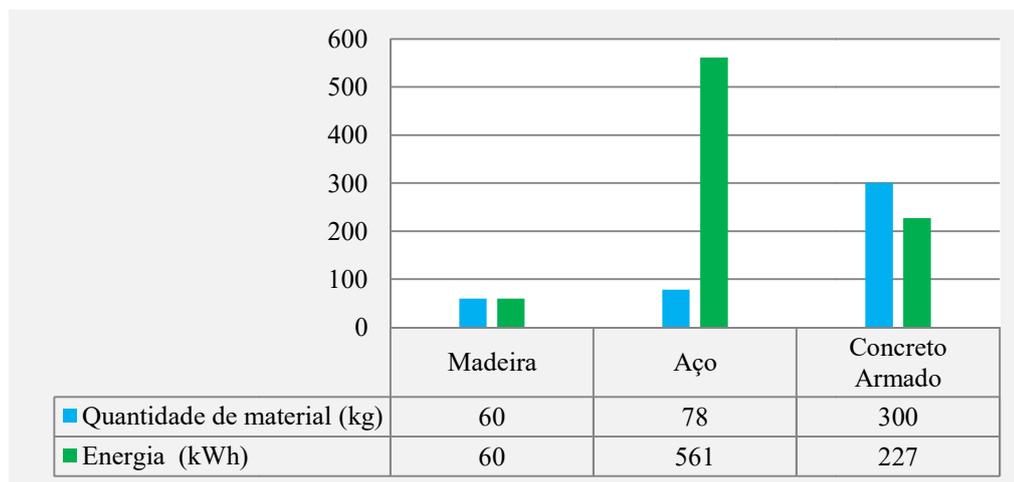
Nesse mesmo trabalho Kolb (2012) avaliou o gasto energético e a quantidade de material necessário para a construção de um pilar de três metros de altura, com diferentes materiais: madeira, perfil de aço e concreto armado (Gráfico 2). Concluiu que para a produção de um pilar de concreto armado foi necessário cinco vezes mais material quando comparado com um pilar de madeira. A energia necessária para a produção de um pilar de aço foi quase dez vezes maior que para um pilar de madeira, e a fabricação de um pilar de concreto armado consumiu quase quatro vezes mais energia que um pilar de madeira.

Segundo a pesquisa elaborada por Börjesson e Gustavsson (2000), que analisou a relação das emissões de gases do efeito estufa gerados na construção de um edifício de madeira com um edifício de concreto, considerando o ciclo de vida, a quantidade de energia necessária para a produção de materiais de construção para as estruturas de concreto foi de 60% a 80% maior se comparada com as estruturas de madeira.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Gráfico 2 - Comparação da necessidade de energia para a construção de um pilar de 3 m de altura



Fonte: Kolb (2012) adaptado pela autora (2021).

A madeira apresenta também outras vantagens em relação aos outros materiais de construção, como a ótima relação resistência/peso, possibilitando peças mais leves, reduzindo o valor do frete e as cargas de fundações, tornando-as mais econômicas; o tempo de construção ser menor com o uso das peças pré-fabricadas de madeira, diminuindo os resíduos, o consumo de água e energia (PAJCHROWSKI; NOSKOWIAK; LEWANDOWSKA; STRYKOWSI, 2014); apresenta melhor conforto térmico e acústico, podendo absorver até quarenta vezes menos calor que os tijolos; boa trabalhabilidade e boa resistência ao fogo (CORDEIRO JUNIOR; SILVA; SOARES, 2017).

A madeira apresenta também outras vantagens em relação aos outros materiais de construção, como a ótima relação resistência/peso, possibilitando peças mais leves, reduzindo o valor do frete e as cargas de fundações, tornando-as mais econômicas; o tempo de construção ser menor com o uso das peças pré-fabricadas de madeira, diminuindo os resíduos, o consumo de água e energia (PAJCHROWSKI; NOSKOWIAK; LEWANDOWSKA; STRYKOWSI, 2014); apresenta melhor conforto térmico e acústico, podendo absorver até quarenta vezes menos calor que os tijolos; boa trabalhabilidade e boa resistência ao fogo (CORDEIRO JUNIOR; SILVA; SOARES, 2017).

Outra importante vantagem do uso da madeira nas edificações é sua beleza e a sensação de conforto e bem estar que proporciona aos usuários das edificações com madeira aparente, aumentando a produtividade. Um estudo realizado pelo instituto austríaco *Forest and Wood Products Australia* (2018), observou que os profissionais que trabalhavam um local com mais de 60% da superfície de madeira aparente apresentaram uma melhor produtividade, maior satisfação com o ambiente de trabalho e com a vida profissional e menor níveis de estresse.

Apesar de todas as vantagens apresentadas do uso da madeira para uma construção sustentável o seu emprego nas edificações brasileiras, para elementos estruturais, ainda é baixo. Para ampliar a procura por estruturas de madeira é necessária a divulgação das pesquisas, levando as informações até a sociedade, com a propagação das técnicas construtivas, de pro-



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

teção, durabilidade e de resistência ao fogo, como também a publicação de normas nacionais de classificação, padronização e cuidados técnicos necessários para a fabricação de estruturas de MLC (CALIL NETO, 2014).

2.2. Madeira Engenheirada

Madeira engenheira é um produto industrial, onde as lâminas de madeira serrada passam pelos processos de secagem, classificação, colagem, prensagem e acabamentos.

Segundo Zangiácomo (2013) a técnica de laminação da madeira teve origem na Alemanha, no final do século XIX, com Hetzer, mas foi a partir de 1913 que ocorreu a propagação das construções com MLC. No Brasil a tecnologia de produção da MLC surgiu em 1934, trazida por imigrantes alemães, que fundaram a empresa Esmara Estruturas de Madeira Ltda. em Curitiba-PR (TELES, 2009).

Os tipos de madeira engenheiradas mais comum no Brasil são a Madeira Laminada Colada (MLC ou *Glulam* do termo em inglês *Glued Laminated Timber*) e a Madeira Laminada Cruzada (CLT - do termo inglês *Cross Laminated Timber*).

A MLC e a CLT são materiais leves e com resistência mecânica similar ao concreto e ao aço (PEREIRA, 2015). A MLC é comumente utilizada em vigas e pilares e os elementos de CLT são utilizados principalmente como paredes, lajes, coberturas e forros (ALMEIDA; SILVA; MOURA, 2021). Os dois tipos de madeira engenheirada mencionados são formadas por lâminas de madeiras coladas, a diferença entre os dois materiais é em relação ao sentido das lâminas. Na MLC as lâminas de madeira são coladas paralelas ao eixo longitudinal da peça e na CLT as lâminas de madeira são coladas perpendicularmente umas das outras (CALIL NETO, 2011); (PEREIRA, 2015).

2.3. Madeira Laminada Colada

A madeira laminada colada (MLC) é um produto engenheirado de madeira, fabricado a partir da colagem, sob pressão, de lâminas de madeira de dimensões reduzidas, com as fibras paralelas ao eixo longitudinal da peça, com o uso de adesivos específicos de boa resistência e durabilidade, criando diferentes elementos, de diversas formas e dimensões (CALIL NETO, 2011), (ABRANTES, 2012), (ZANGIÁCOMO, 2003).

Diversos elementos podem ser fabricados de MLC, como estruturas de coberturas, arcos, pórticos, vigas e pontes. Isto ocorre devido a possibilidade de produzir peças de várias formas, dimensões e com elevada resistência mecânica (SEGUNDINHO; ZANGIÁCOMO; CARREIRA; DIAS; LAHR, 2013).

Segundo Calil Neto (2011) as espécies de árvores coníferas e folhosas são as mais recomendadas para a produção de MLC, mas todas as madeiras podem ser coladas, porém algumas espécies necessitam de colas especiais para que o processo de colagem seja adequado, devido as suas características físicas e químicas.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

As madeiras utilizadas na confecção de peças de MLC podem ser provenientes de florestas de reflorestamento ou do manejo de florestas nativas. Azambuja (2006) relata que no Brasil, a espécie mais utilizada para fabricação de elementos estruturais de MLC, é o Pinus.

Uma das principais vantagens do emprego de elementos estruturais de MLC é a capacidade de utilizar madeiras de reflorestamento, possibilitando a utilização de madeiras de baixa qualidade e menores dimensões, colaborando na preservando das matas nativas (AZAMBUJA, 2006). Como também a possibilidade de realizar emendas nas lâminas, isso permite a produção de peças de várias formas, seja reta ou curvas, e vários comprimentos, sendo limitadas apenas pelo transporte e pelo processo de fabricação, propiciando uma maior liberdade arquitetônica (MIOTTO, 2009).

A possibilidade de realizar emendas também permite a retirada das imperfeições inerentes à madeira maciça, como os nós, aproveitando o restante da lâmina, reduzindo o desperdício de material e garantindo uma maior resistência e rigidez da peça (MIOTTO, 2009). O processo de colagem das lâminas de madeira realizado na MLC proporciona uma maior rigidez na peça.

O processo de fabricação da MLC também garante uma maior resistência da peça comparada com uma madeira natural, em virtude da possibilidade de determinar a posição das lâminas mais resistentes em regiões de maiores esforços, e as lâminas menos resistentes nas regiões menos solicitadas, colaborando com o uso racional da madeira (AZAMBUJA, 2006), (TELES, 2009).

Os defeitos causados pela variação dimensional, como rachaduras, também são reduzidos pelo fato do processo de secagem das lâminas ser mais eficiente, em razão da seção das peças serem menores (MIOTTO, 2009), (TELES, 2009). Outra questão a ser mencionada é que as peças de MLC são mais leves, apresentam menor peso próprio se comparadas a elementos estruturais de aço ou concreto, gerando economia na execução das fundações e menor custo para o transporte (ABRANTES, 2012).

Conforme Abrantes (2012) o fato da MLC ser um produto pré-fabricado, gera economia de tempo e custos na execução da obra e o reaproveitamento das peças é outra vantagem, já que as peças podem ser montadas e desmontadas, reduzindo o desperdício de material.

Mas a MLC apresentam algumas limitações ao seu emprego, como o elevado custo em relação a madeira serrada, devido a necessidade de equipamentos e adesivos especiais, mão de obra especializada e o alto controle de qualidade (ABRANTES, 2012).

2.3.1. Processo de fabricação

O processo de fabricação de um elemento de MLC necessita de um bom controle de qualidade para garantir a qualidade final da peça, pois alterações como na posição das lâminas, no processo de colagem ou nas emendas podem resultar em elementos com comportamento estrutural diferente do esperado.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

Segundo o projeto de revisão da NBR 7190 (2013) a qualidade de um elemento de MLC depende das várias etapas do processo de fabricação, sendo importante utilizar apenas uma espécie de madeira para compor uma peça de MLC.

Para elementos estruturais de MLC, deve-se utilizar madeiras com densidade entre 0,40 g/cm³ e 0,75 g/cm³, para um teor de umidade de 12%, com lâminas de espessura máxima de 50 mm (NBR 7190, 2013). A densidade da madeira influencia a colagem das lâminas devido à permeabilidade do material, quanto maior a densidade, mais baixa é a permeabilidade, reduzindo a penetração do adesivo nas fibras da madeira o que dificulta o processo de colagem (FIORELLI, 2005).

Após a escolha da madeira, o processo de fabricação de elementos de MLC é composto pelas seguintes etapas: secagem; tratamento preservativo; classificação das lâminas; emendas; colagem e acabamentos finais.

A secagem das lâminas pode ser realizada de modo natural, empilhando as madeiras com separadores para permitir a passagem de ar entre as peças, um processo demorado, não é econômico, mas é o mais eficiente, ou a secagem pode ser de modo artificial, com o uso de estufas, um processo mais rápido, mas não é tão eficiente quanto ao processo natural (ABRANTES, 2012). O projeto de revisão da norma NBR 7190 (2013), determina que a umidade máxima das lâminas de madeira não deve ultrapassar 18% e a diferença de umidade entre lâminas adjacentes não pode ser superior a 5%. Se houve uma grande diferença de umidade entre as lâminas próximas, pode ocorrer o processo de delaminação, provocado pela contração e inchamento das lâminas, gerando tensões internas (TELES, 2009).

Após a secagem, as lâminas passam pelo tratamento preservativo, como a madeira apresenta fragilidade a agentes químicos, físicos e biológicos, é necessário fazer o tratamento preservativo das lâminas da madeira ou da peça pronta, desde que não provoque alterações nas juntas de colagem, com produtos que garantem a durabilidade e a proteção da madeira (NBR 7190, 2013). O tratamento preservativo é feito com produtos químicos que garantem proteção a fungos e agentes xilófagos, que são os insetos que se alimentam da madeira (FIORELLI, 2005), sendo tóxicos para esses organismos, mas não podem apresentar toxicidade aos seres humanos (CALIL NETO, 2011). Os preservativos mais recomendados são o CCA (Arseniato de Cobre Cromatado) e o CCB (Boro de Cobre Cromatado) (CALIL NETO, 2011).

Após a secagem é realizada a classificação das lâminas, de acordo com Teles (2009) a classificação das lâminas deve ser realizada visualmente e mecanicamente pelo módulo de elasticidade. A classificação visual avalia a presença de defeitos como nós, fendas, abaulamento, bolor, furos de larvas e apodrecimento e a classificação mecânica determina o módulo de elasticidade na flexão (E_M) da peça através de ensaio não destrutivo, permitindo agrupar as tábuas em lotes conforme o módulo de elasticidade. As tábuas com E_M superior devem ser utilizadas na quarta parte mais afastada da linha neutra e as lâminas com E_M inferior devem ser utilizadas na metade central da peça de MLC.

Após a exclusão dos defeitos as extremidades das lâminas são usinadas para realizar as emendas, sendo coladas com o uso de pressão até atingir o comprimento de projeto (AZAMBUJA, 2006). As emendas podem ser de topo, biselada ou dentada (Figura 15), a e-



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

menda dentada ou também chamada de fingerjoint é a mais utilizada pelos fabricantes de MLC e a recomendada pela NBR 7190 (2013). As emendas dentadas apresentam boa resistência mecânica e valores mais uniformes (MACÊDO; CALIL JUNIOR, 1999) e devem apresentar pelo menos 75% da resistência da madeira sem defeitos (MIOTTO, 2009).

Antes da colagem, as lâminas devem ser aplainadas e limpas, retirando qualquer relevo para a aplicação do adesivo. Em seguida as mesmas são sobrepostas umas sobre as outras até a quantidade indicada no projeto de fabricação e submetidas a pressão em um prensa, podendo ser de formato reto ou curvo, conforme o projeto. A peça deve ficar na prensa até a ação do adesivo, que varia conforme o produto utilizado (ABRANTES, 2012); (MIOTTO, 2009). A pressão exercida pela prensa depende da densidade da madeira e do tipo de adesivo utilizado, o projeto de revisão da NBR 7190 (2013) propõe que na ausência de recomendações do fabricante da cola, a peça de MLC deve receber uma pressão mínima de 0,7 MPa para madeira de densidade menor ou igual a 0,50 g/cm³ e 1,2 MPa para madeiras de densidades superior a 0,50 g/cm³.

Por último a peça é aplainada para retirar o excesso de adesivo, que escorre no processo de colagem, e retirar irregularidades da peça. Na sequência são realizados os cortes e as furações para as ligações, e por fim é realizada a proteção final com verniz e produtos preservativos (MIOTTO, 2009).

2.3.2. Adesivos

Segundo a NBR 7190 (1997) os adesivos para elementos estruturais de MLC devem garantir a durabilidade e a integridade da ligação colada ao longo da vida da estrutura. O adesivo é o fator mais importante na fabricação de elementos de MLC sendo responsável pela boa qualidade e desempenho estrutural deles. Mas para que isso ocorra é necessário que o adesivo tenha características de boa resistência mecânica, ofereça uma união resistente, estável e durável e resistência a intempéries (ABRANTES, 2012).

A escolha do adesivo depende de muitas variáveis, como o tipo da madeira, temperatura ambiente e umidade, logo os adesivos são escolhidos de acordo com a sua classe de uso (ambientes internos ou externos), a espécie da madeira, o tipo de preservativo e o processo de fabricação (CALIL NETO, 2011).

Os adesivos estruturais empregados para a fabricação de MLC podem ser à base de poliuretano líquido (Purbond), à base de Fenol-Resorcinol (Cascophen) ou à base de Folmaldeído (Melanina) (CAVALHEIRO, 2014). E está em desenvolvimento o adesivo de poliuretano à base de óleo de mamona, uma alternativa sustentável aos outros adesivos, com propriedades térmicas e mecânicas iguais ou até superiores aos poliuretanos comumente utilizados (CERCHIARI, 2019).

3. Metodologia

Para o desenvolvimento desse trabalho foi aplicado o método de abordagem hipotético-dedutivo como a seguinte hipótese: a MLC é como um material versátil, agradável estetica-



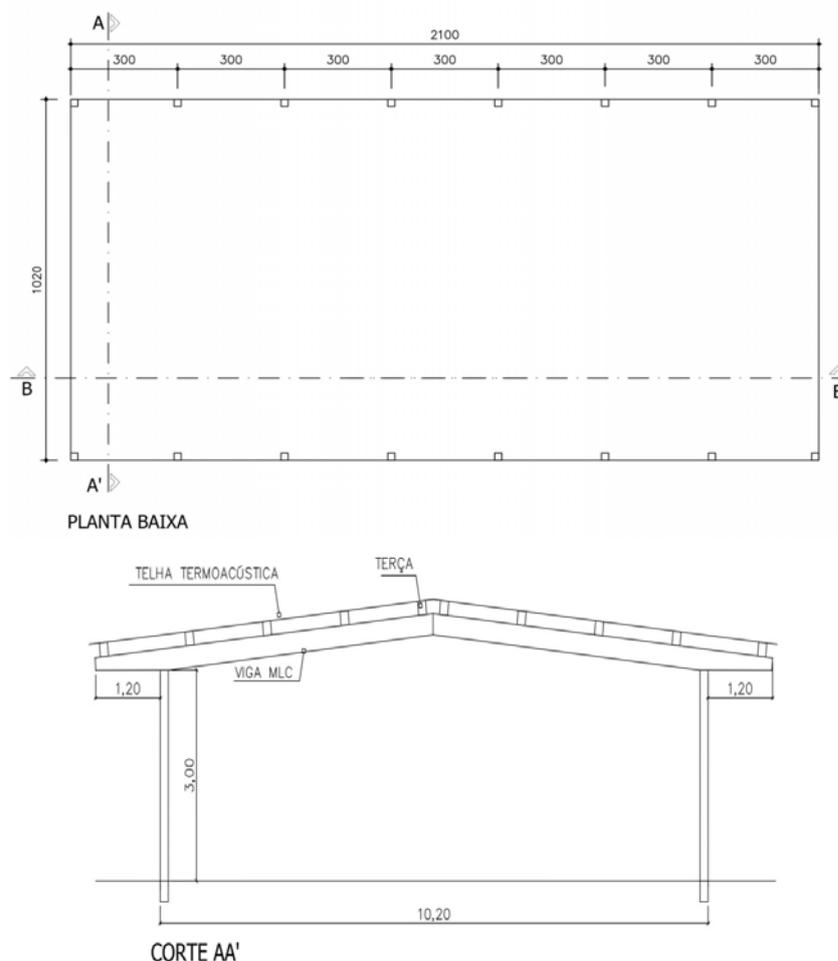
III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

mente, sustentável e viável economicamente para o emprego em elementos estruturais da Construção Civil na região Noroeste do Paraná.

Para a verificação dessa hipótese foi realizada uma pesquisa exploratória, utilizando normas nacionais, literatura, artigos científicos, teses e dissertações, verificando sua versatilidade, frente a alguns critérios técnicos, bem como, os aspectos sustentáveis da MLC. Neste ponto, realizou-se também a análise da viabilidade econômica de se construir com MLC na região Noroeste do Paraná.

O estudo de viabilidade econômica da MLC foi realizado com a pesquisa dos custos para a execução da estrutura de uma edificação a cidade de Umuarama no Paraná, em três diferentes materiais: aço, concreto pré-moldado e MLC. Para isso, elaborou-se o projeto de um edifício de 6 metros de largura, 12 metros de comprimento e 3 metros de altura, totalizando 72 m², composta por pilares e vigas (Figura 1).

Figura 1- Projeto elaborado



Fonte: Autora (2021).

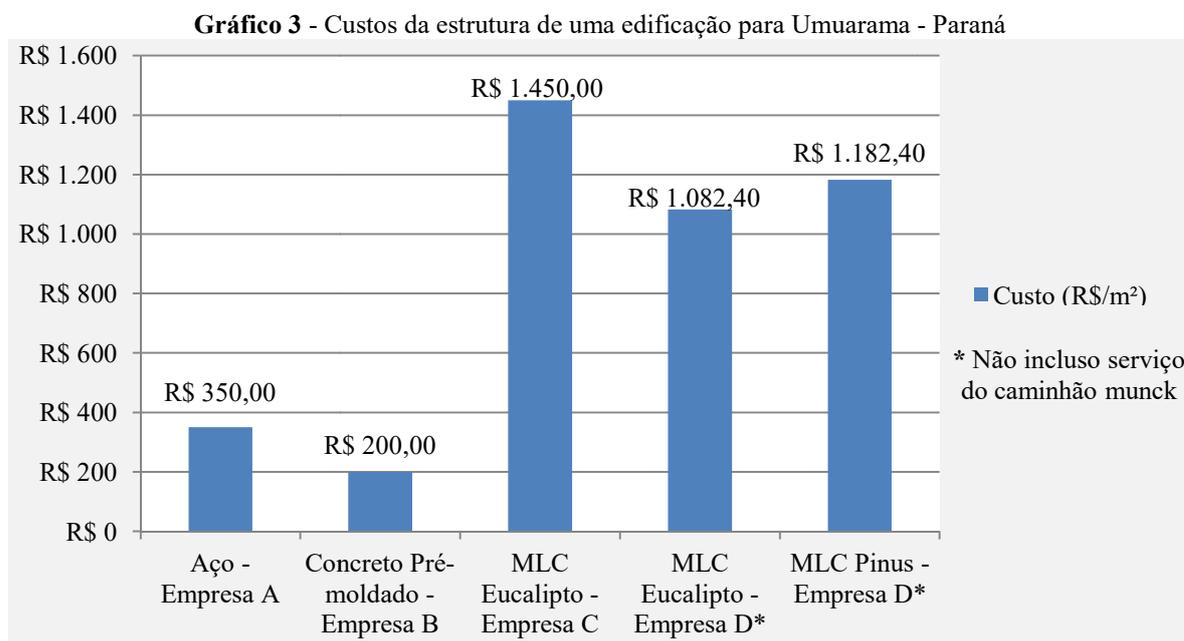


III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Encaminhou-se, por e-mail, o projeto elaborado para quatro empresas que trabalham com esses materiais: empresa A fabricante de estruturas metálicas de Umuarama, empresa B fabricante de estruturas pré-moldadas também da cidade de Umuarama, a empresa C fabricante de estruturas de MLC de Taboão da Serra (SP) e a empresa D fabricante de MLC da cidade de Foz do Iguaçu (PR). As empresas forneceram o valor para a execução da estrutura englobando os custos de projeto, fabricação, transporte e montagem dos pilares, e vigas conforme o projeto enviado. Com os dados recebidos, elaborou-se o gráfico dos custos da estrutura nos três materiais.

4. Resultados

Analisando os custos para a execução da estrutura de uma edificação, composta por pilares e vigas, na região de Umuarama no Paraná, englobando os serviços de projeto, execução e montagem, verificou-se que a construção com MLC na região estudada é superior aos outros materiais orçados (Gráfico 3).



Fonte: Autora (2021).

A construção com elementos estruturais de MLC apresentou um custo cinco vezes maior que o custo da construção com concreto pré-moldado e três vezes maior que a construção com aço. Assim, até neste momento, com os parâmetros utilizados no estudo e para a planta proposta, para a região de Umuarama, a construção com aço e concreto pré-moldado mostrou-se mais viável economicamente que a construção com MLC.

Alguns fatores são responsáveis por elevar o custo da MLC são:



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

a) Transporte

A distância de Umuarama até os centros produtores de MLC aumentam o custo de transporte das peças, como também os custos de deslocamento e mobilização da equipe de montagem, elevando o valor final da estrutura. A empresa D é a mais próxima, aproximadamente 285 km de Umuarama, já a empresa C está localizada a 805 km de Umuarama.

b) Adesivo importado

O adesivo mais utilizado na fabricação de elementos estruturais de MLC é o Cascophen, um produto importado, com isso apresenta alto custo, variando o preço conforme a cotação do dólar. Uma alternativa para a redução dos custos da MLC é o desenvolvimento de adesivos nacionais com bom desempenho estrutural quanto à resistência e durabilidade, o que já vem sendo estudado em alguns centros de pesquisa (AZAMBUJA, 2006).

c) Baixa demanda de MLC no Brasil

A madeira engenheirada no Brasil ainda é novidade, muitos profissionais não conhecem os aspectos construtivos do material e não o utilizam em suas obras, gerando baixa demanda pelo produto, inviabilizando os investimentos para a sua produção.

5. Conclusões

Através da revisão bibliográfica, conclui-se que a MLC é um material sustentável, de fonte renovável, que contribui com o meio ambiente realizando a captura do gás carbônico e apresenta baixo consumo energético de produção quando comparada com os outros materiais, comumente empregados no setor da Construção Civil, como o aço e o concreto.

O emprego da MLC nas edificações permite o melhor aproveitamento da madeira, propiciando a utilização de madeiras de menor resistência em regiões pouco solicitadas e devido a capacidade de realizar emendas, com muitas opções de forma e geometria.

Alguns critérios devem ser observados no processo de fabricação de elementos estruturais de MLC para garantir a qualidade e a eficiência do material. A densidade aparente da madeira, para umidade de 12%, empregada em elementos de MLC deve apresentar valores entre $0,40 \text{ g/cm}^3$ a $0,75 \text{ g/cm}^3$, possuir teor de umidade de no máximo 18% e as lâminas devem ter espessura máxima de 50 mm. Os elementos de MLC devem ser tratados com produto preservativo para garantir a durabilidade do material, que pode ser realizado na peça pronta ou nas lâminas da madeira antes da fabricação. Todas as lâminas devem passar pelo processo de classificação visual, verificando a presença de defeitos, e mecânico, com a determinação do módulo de elasticidade das lâminas, para o posicionamento adequado das mesmas de acordo com as solicitações da viga.

Muitas vantagens podem ser observadas com o uso da MLC nas construções, no entanto devido a baixa procura pelo produto no Brasil, seu custo ainda é alto. Sendo que é um produto industrializado, que necessita de equipamentos, adesivos, controle de qualidade e mão de obra especializada, gerando um custo de produção elevado.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

Quando se analisa os custos, a construção com aço e concreto pré-moldado mostrou-se mais viável economicamente em relação ao MLC, para a região Noroeste do Paraná e para o projeto proposto. Mas com a análise global, a construção com MLC apresenta muitas vantagens em termos de sustentabilidade.

Com a divulgação da MLC, com trabalhos que auxiliam os profissionais de engenharia a utilizá-la em seus projetos, sendo que o país ainda não possui uma norma técnica com parâmetros de cálculo que preconize o seu emprego, é possível aumentar a demanda pela madeira engenheirada, viabilizando que mais empresas invistam no material e, também, desenvolvam adesivos com menor custo e boa resistência, reduzindo o preço da MLC em questão.

6. Agradecimentos

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelos recursos concedidos sob a forma de bolsa de mestrado para a realização desta pesquisa.

7. Referências bibliográficas

ABRANTES, C. A. **Determinação da carga crítica de instabilidade lateral no regime linear elástico, em vigas linear, elástico em vigas de madeira laminada colada (MLC)**. 2012. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-21122012-085935/pt-br.php>. Acesso em: 20 jun. 2020.

ALMEIDA, A. C.; SILVA, R. D.; MOURA, J. D. M. Potencial de implantação do sistema construtivo Cross Laminated Timber – CLT no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 6, p. 57607-57619, 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/31197>. Acesso em: 13 set. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **CB-02 2º PN revisão ABNT NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 2013. 72 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

AZAMBUJA, Maximiliano dos Anjos. **Estudo experimental de adesivos para fabricação de madeira laminada colada**: avaliação da resistência de emendas dentadas, da durabilidade e de vigas. 2006. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-22112010-145050/pt-br.php>. Acesso em: 21 out. 2020.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

BÖRJESSON, P.; GUSTAVSSON, L. *Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives*. **Energy Policy**, v. 28, n. 9, p. 575-588. 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421500000495>. Acesso em: 05 set. 2020.

CALIL NETO, C. **Recomendações para o sistema de controle de qualidade para a produção de madeira laminada colada (MLC) certificada**. 2008. 89 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira) – Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Itapeva, 2008. Disponível em: <http://madeiralaminadacolada.com/TCC-Carlito-Calil-Neto.pdf>. Acesso em: 20 set. 2020.

CALIL NETO, C. **Madeira Laminada Colada (MLC): controle de qualidade em combinações espécie-adesivo-tratamento preservativo**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-19042011-171909/pt-br.php>. Acesso em: 14 set. 2020.

CALIL NETO, C. **Ligações com parafusos auto-atarraxantes sem pré-furação para uso em estruturas de madeira**. 2014. Tese (Doutorado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-14052014-110108/pt-br.php>. Acesso em: 14 set. 2020.

CAVALHEIRO, R. S. **Madeira laminada colada de *Schizolobium amazonicum* Herb. (Paricá): combinação adesivo/tratamento preservante**. 2014. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18158/tde-07102014-143850/pt-br.php>. Acesso em: 13 abr. 2020.

CERCHIARI, A. M. F. **Produção sustentável de poliuretano à base de óleo de mamona e potenciais aplicações na colagem e impermeabilização de madeiras de reflorestamento**. 2019. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-12122019-162647/pt-br.php>. Acesso em: 16 jun. 2020.

CORDEIRO JUNIOR, C. R.; SILVA, W. C. R.; SOARES, P. T. M. L. Uso da madeira na construção civil. **Projectus**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 4, p. 79-93, 2017. Disponível em: <https://revistas.unisiam.edu.br/index.php/projectus/article/view/278>. Acesso em: 18 set. 2020.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

FIORELLI, J. **Estudo teórico e experimental de vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibra de vidro**. 2005. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-19072005-110613/pt-br.php>. Acesso em: 10 set. 2020.

FOREST AND WOOD PRODUCTS AUSTRALIA. Workplaces: wellness + wood = productivity. 2018. Disponível em: <https://makeitwood.org/documents/doc-1624-pollinate-health-report---february-2018.pdf>. Acesso 22 set. 2020.

KOLB, J. *Bois: Systèmes Constructifs*. 2. ed. atualizada. Paris, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), 2012. 320 p.

LEITE, T. M.; SANTOS, P. A.; VALLE, I. M. O uso da madeira laminada colada no Brasil: panorama e desafios. In: **II Congresso Latino-americano de Estruturas de Madeira**, 2017, Buenos Aires. Disponível em: <https://clem-cimad2017.unnoba.edu.ar/papers/T7-20.pdf>. Acesso em: 19 set. 2020.

MARQUES, L. E. **O papel da madeira na sustentabilidade da construção**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2008. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~jmfaria/TesesOrientadas/MIEC/MadeiraSustentabConstrucao.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2020.

MARTINS, G. C. A. **Análise numérica e experimental de vigas de madeira laminada colada em situação de incêndio**. 2016. Tese (Doutorado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-11102016-111511/pt-br.php>. Acesso em: 25 jun. 2020.

MIOTTO, J. L. **Estruturas mistas de madeira-concreto: avaliação das vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibras de vidro**. 2009. Tese (Doutorado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-15062009-094616/pt-br.php>. Acesso em: 19 jun. 2020.

PAJCHROWSKI, G.; NOSKOWIAK, A.; LEWANDOWSKA, A.; STRYKOWSKI, W. *Wood as a building material in the light of environmental assessment of full life cycle of four buildings. Construction and Building Materials*, v. 52, p. 428-436, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061813010994>. Acesso em: 14 out. 2020.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

PEREIRA, M. C. M. **Metodologia para estudo da caracterização estrutural de painéis de madeira laminada colada cruzada**. 2015. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18158/tde-07052015-084252/pt-br.php>. Acesso em: 20 out. 2020.

PETERSEN, A. K.; SOLBERG, B. *Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost-efficiency of using laminated wood instead of steel construction. Case: beams at Gardermoen airport*. *Environmental Science & Policy*, v. 5, p. 169-182. 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1462901101000442?via%3Dihub>. Acesso em: 24 out. 2020.

SEGUNDINHO, P. G.; ZANGIÁCOMO, A. L.; CARREIRA, M. R.; DIAS, A. A.; LAHR, F. A. Avaliação de vigas de madeira laminada colada de cedrinho (*Erisma uncinatum* Warm.). *Cerne*, v. 19, n. 3, p. 441-449. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cerne/a/qYVZQqJdPsdt9f9D95cG8TS/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 21 jun. 2020.

TELES, R. F. **Propriedades tecnológicas de vigas de madeira laminada colada produzidas com Louro Vermelho (*Sextonia rubra*)**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/4279>. Acesso em: 28 maio 2020.

ZANGIÁCOMO, A. L. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada**. 2003. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-26052006-150001/pt-br.php>. Acesso em: 18 jul. 2020.

WWF BRASIL. **Programa madeira é legal**. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/amazonia/amazonia_acoes/governancaflorestal/. Acesso em: 16 nov. 2020.