

**ANA RAQUEL PAVANELLI
FRANCIELE WEDJA DA SILVA GOMES**

**ANÁLISE DE SISTEMAS ESTRUTURAIS E CONSTRUTIVOS EM MADEIRA
LAMELAR COLADA - MLC E MADEIRA LAMELAR CRUZADA - CLT**

**SÃO CARLOS
2019**

**ANA RAQUEL PAVANELLI
FRANCIELE WEDJA DA SILVA GOMES**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia Civil do Centro Universitário Central Paulista, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Doutor Decio Gonçalves

SÃO CARLOS

2019

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre
aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que me ouviu nos momentos difíceis, me confortou, me deu forças para chegar até aqui. Por cada vitória ao longo desse percurso e também pelas derrotas, as quais me serviram de aprendizado. Sem o senhor, eu até poderia ter conseguido, porém, não teria o mesmo significado. Sem dúvida o maior responsável por essa conquista.

Agradeço também aos meus pais, que não só neste momento, mais em toda a minha vida estiveram comigo, ao meu lado, fornecendo o apoio, compreensão e estímulo em todos os momentos.

Agradeço a minha mãe, que me ensinou a ser uma mulher de força e um ser humano íntegro, com caráter, coragem e dignidade para enfrentar a vida.

Ao meu pai, que me ensinou os maiores valores que se pode ter na vida, me incentivou a estudar, me ensinou a batalhar, buscando os meus objetivos sem perder a fé.

À minha Irmã por me motivar e acreditar que tudo daria certo, na maior parte do tempo (risos). Obrigado por sempre estar disposta a me ajudar, por ser minha amiga e companheira. Você também é minha inspiração.

Agradeço a minha companheira e Amiga Franciele que caminhou ao meu lado todos esses anos, me ajudando e apoiando em cada disciplina. Sem você essa graduação não teria sido tão animada. Estará sempre em meu coração.

Ao Orientador desse Trabalho Prof. Dr. Décio Gonçalves que se dedicou e com excelência nos ajudou e apoiou em todo o processo.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que estiveram ao meu lado, amigos da igreja e do trabalho, parentes, a todos os professores e alunos, Conseguimos!

*Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos.
Provérbios 16:3*

ANA RAQUEL PAVANELLI.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades, por ter me amparado, dado forças e principalmente iluminado meu caminho.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que tornaram real a janela que hoje vislumbro, realizando assim o meu sonho de uma graduação. Concluo o curso com plena confiança no mérito e ética de todos aqui presentes.

Ao meu orientador Prof. Dr. Décio Gonçalves, pela experiências trocadas, pelas suas correções e incentivos. Agradeço infinitamente todo suporte e cooperação, foi de grande valor pra mim sua orientação.

Aos meus pais e irmãs, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Principalmente para minha mãe, minha heroína e meu maior exemplo, por toda a sua preocupação, todo empenho e amor, por me acalantar em todas noites mal dormidas, por estar presentes em todos momentos. Essa graduação não é somente minha, todos meus méritos e conquistas são seus.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender.

Obrigada ao meu noivo, amor da minha vida, que com toda sua compreensão e amor me fortaleceu. Nos momentos de incerteza foi meu maior fã, teve infinita paciência e que nos momentos de minha ausência dedicados ao estudo superior, sempre procurou entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente.

Meus agradecimentos aos amigos e companheiras de trabalho que fizeram parte da minha formação e me encheram de fé e força de vontade, e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

Em especial a minha amiga e coautora deste trabalho Ana Raquel, que me auxiliou em todos inúmeros desafios que enfrentamos, sempre com o espírito colaborativo e ajuda mútua. Juntas conseguimos avançar e ultrapassar todos os obstáculos. Se tornou uma irmã, é o grande presente que esta graduação me deu.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

FRANCIELE WÉDJA DA SILVA GOMES.

RESUMO

Tendo em vista a crescente variedade de produtos oriundos da madeira a serem empregados na construção civil, destacamos neste trabalho a utilização e procura tanto da madeira lamelar cruzada ou cross laminated timber (CLT) quanto da madeira lamelada colada (MLC), visando ressaltar a sua proeminência e acrescentar aspectos construtivos e arquitetônicos, bem como diferenciar os dois tipos de sobreposições de madeiras.

Neste estudo avaliou-se o comportamento e a utilização da CLT e da MLC, descrevendo as suas fabricações e ilustrando suas qualidades utilizando-se de edifícios em que as mesmas foram empregadas. Foi desenvolvida uma análise estrutural servindo como base o *Estudo de Caso* que tem como programa funcional um *Espaço Multiuso*, estruturalmente este projeto é definido por vigas e pilares em MLC e, painéis de fechamentos/vedos e lajes, no caso, em CLT.

Palavras-chave: Madeira lamelar, MLC, CLT, Construções, Materiais.

ABSTRACT

Given the growing variety of wood products to be used in construction, we highlight in this work the use and demand of both cross laminated timber (CLT) and glued laminated wood (MLC), aiming to highlight its prominence and add constructive and architectural aspects as well as differentiate the two types of wood overlaps.

This study evaluated the behavior and use of CLT and MLC, describing their fabrication and illustrating their qualities using buildings in which they were used. A structural analysis was developed based on the Case Study that has as a functional program a Multipurpose Space, structurally this project is defined by beams and pillars in MLC and closure panels and slabs, in this case, in CLT.

Keywords: Laminated wood, MLC, CLT, Constructions, Materials

Lista de Figuras e tabelas

Figura 1 - Esquema geral de uma peça de MLC, a) Confeção; b) Peça pronta_____	16
Figura 2 - Emendas _____	16
Figura 3 - a) Peça em CLT; b) Peças em CLT para acabamentos internos_____	18
Figura 4 - Blocos residenciais Puukuokka_____	21
Figura 5 - Zero Energy de Skilpod + UAU Collectiv _____	22
Figura 6 - Residencia CLT de atelier Jones _____	22
Figura 7 - MUBe vista aérea_____	24
Figura 8 - MUBe vista exterior_____	25
Figura 9 - Maquete de papel com o tema: Projeto “Gafanhoto” _____	26
Figura 10 - Planta térreo_____	27
Figura 11 - Corte lateral_____	27
Tabela 1 - Comparação entre os materiais estruturais mais utilizados em construções Civis. _____	13
Tabela 2: Classes de resistência de espécies de madeira de reflorestamento para corpos de prova. _____	17

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVAS.....	12
1.2 OBJETIVO GERAL.....	13
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 MADEIRA LAMELAR COLADA - MLC.....	15
2.2 MADEIRA LAMELAR CRUZADA - CLT.....	17
2.3 A UTILIZAÇÃO DA CLT NO BRASIL.....	19
2.4 A FABRICAÇÃO DA CLT.....	20
2.5 EXEMPLOS DE OBRAS EMBLEMÁTICAS EM CLT.....	21
2.6 CONCEPÇÕES DE PROJETOS ARQUITETÔNICOS.....	23
3 ESTUDO DE CASO.....	26
4 CONCLUSÃO	28
5 REFERÊNCIAS	29

1. INTRODUÇÃO

O incentivo e procura por construções em madeira vem aumentando de forma significativa nos últimos anos no Brasil, notadamente a partir da década de 90, do século passado, principalmente por sua versatilidade e ser uma matéria prima natural e quando abordada com critérios racionais e legais, em seus processos de extração e submetida a tratamentos preservativos, pode também ser considerada, como permeada com processos de sustentabilidade. Analisando os principais aspectos construtivos da madeira como a rapidez de conclusão e facilidade de montagem é indiscutível a sua superioridade em relação aos outros materiais convencionais da construção civil, como o aço e o concreto armado (Calil, Rocco Lahr e Dias, 2003).

Segundo Man You (2009), discussões a respeito de critérios sustentáveis trouxeram à frente questões como racionalização de materiais construtivos, reaproveitamento de materiais e reutilização de materiais oriundos de construções. Dentre todos esses aspectos a madeira se encaixa perfeitamente e ainda agrega questões sociais e ambientais importantes, como por exemplo a manutenção e preservação do meio ambiente por meio do reflorestamento. A madeira é uma importante alternativa para o sequestro e armazenamento de gás carbônico. Entre todo o reino vegetal, as florestas proporcionam o mais longo estoque do ciclo do carbono, em forma de madeira e acumulação no solo por centena de anos antes de retornar a atmosfera através da respiração decomposição erosão e queima.

Em uma análise construtiva a madeira possui a menor demanda energética e melhor relação resistência/densidade entre os materiais construtivos convencionais usados atualmente, como o aço e o concreto armado. A Tabela 1, a seguir, publicada no trabalho de Calil Jr., Rocco Lahr e Dias (1997) exemplifica alguns destes materiais:

Uma das propriedades físicas que chama a atenção é em relação ao Módulo de Elasticidade, entre o concreto armado e a madeira, quando se compara com a espécie dicotiledônea, o módulo dela é superior ao concreto armado. Isto significa que a madeira apresenta maior resistência à compressão longitudinal, ou seja, deforma-se com tensões superiores, mantendo assim, sua estabilidade estrutural em um patamar superior ao do concreto armado.

Tabela 1 - Comparação entre os materiais estruturais mais utilizados em construções civis

Material	Densidade (KN/m ³)	Energia para produção (MJ/m ³)	Resistência (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Relação Energia/Resistência	Relação Resist/Densidade	Relação Módulo/Densidade
Concreto	24	1920 (óleo)	20 ³	20000	96	0,83	833
Aço	78	234000 (carvão)	250 ⁴	210000	936	3,21	2692
Madeira conífera	6	600 (solar)	50 ⁵	10000	12	8,33	1667
Madeira dicotiledônea	9	630 (solar)	90 ⁵	25000	7	10,00	2778

³ Resistência característica da compressão usual para concretos usinados

⁵ Valor médio da resistência a compressão paralela às fibras

⁴ Tensão de escoamento para o aço ASTM A-36

Fonte: Calil Jr, Rocco Lar e Dias (1997).

1.1 JUSTIFICATIVAS

Uma característica comum nas construções sustentáveis dos países, ditos como desenvolvidos, é a intensa industrialização, visando uma padronização dimensional e, como resultado a busca por sistemas modulares e pré-fabricados, visando uma excelente relação custo-benefício. Nesse contexto, o material madeira se credencia como um material autoportante, indispensável para o uso em sistemas estruturais das mais variadas solicitações e configurações espaciais. Trata-se de um material natural, renovável, quando inserido nos padrões recomendáveis de Sustentabilidade, apresentando ótima relação peso x resistência mecânica, baixo custo de processamento, quando comparado a outros materiais convencionais. Essas qualificações e especificidades inerentes da madeira, a colocam como um material de excelência para a concepção projetual e execução dos mais variados tipos de sistemas estruturais, inclusive o *Wood Frame*, de larga escala em países como os USA, Japão e os países euro centrais. Para se ter uma ideia, nos USA, a porcentagem do uso desse sistema, se situa em patamares superiores a 80%. É um sistema prático, de fácil execução, apresentando custo competitivo comparado aos demais materiais encontrados no

mercado da construção civil. Permite reformas civis e processadas em tempo muito exíguo, portanto de baixo custo, com alto índice de reaproveitamento de materiais utilizados em outras obras, praticamente, não há desperdícios.

No que se refere aos sistemas construtivos, a madeira apresenta uma gama ampla de produtos e subprodutos engenheirados, destacando-se a madeira maciça, a roliça e a serrada, os produtos processados, como a Madeira Lamelar Colada – MLC e a Madeira Lamelar Cruzada – CLT, denominação esta, proveniente do termo em inglês, *Cross Laminated Timber*. A MLC é usada para a fabricação de vigas, pilares, arcos, entre outros e a CLT para vedos/fechamentos e lajes.

Salienta-se que a redução de custos de mão de obra é apenas um dos pontos positivos, sendo o mais evidente a vantagem relacionada ao uso consciente de recursos e a diminuição de desperdício. Ao se observar a crescente procura e interesse por construções em madeira e as comparações feitas, por exemplo, em relação à alvenaria convencional, de tijolos ou blocos de cerâmica e de concreto, estes, utilizados, também no sistema Alvenaria Estrutural. Neste sistema estrutural e construtivo, em termos comparativos, o uso de blocos ou tijolos cerâmicos são mais vantajosos em relação aos do concreto, pois, de uma forma geral apresentam:

- Maior conforto acústico;
- Maior resistência térmica;
- Canteiro de obra mais limpo e organizado.

1.2 OBJETIVO GERAL

Apresentar produtos engenheirados de madeira, no caso, a MLC e a CLT como materiais de excelência para aplicação em sistemas estruturais e construtivos, salientando suas características singulares e especificidades únicas, em comparação aos demais materiais congêneres, como o aço e o concreto armado, entre outros. Para contextualizar esses benefícios foi inserido no texto deste relatório, um *Estudo de caso*, com o programa funcional, *Espaço Público Multiuso*.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Apresentar vantagens e desvantagens do uso das MCL e CLT, caracterizando-as como materiais relevantes em sistemas estruturais e construtivos. Assim, são expostos e definidos propriedades físicas e mecânicas do material madeira, constituintes desses sistemas;
- ✓ Projetar um artefato arquitetônico, por exemplo um programa funcional, no caso, um *Espaço Público Multiuso*, para eventos sociais e culturais que possam ser utilizados pelas comunidades de pequenas e médias cidades. Para tal, é apresentado um *Estudo de caso*, com estas características projetuais, representado graficamente, digitalizado, por planta e elevação. Estruturalmente, este projeto é definido por vigas e pilares em MCL e, painéis de fechamentos/vedos e lajes, no caso, em CLT.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste contexto de trabalho, academicamente, este tópico denominado de Revisão Bibliográfica, mais precisamente poderia ser definido como *Estado da Arte e da Técnica*, que aborda temas, obras similares que foram pensadas e executadas anteriormente a esta pesquisa, neste caso específico, deste presente Trabalho de Conclusão de Curso – TCC.

Primordialmente, esta revisão, denominada, conforme o título empregado, analisará as propriedades principais, físicas e mecânicas, dos produtos de madeira, a MLC e a CLT, seus empregos em um *Estudo de caso* específico, salientando suas características singulares.

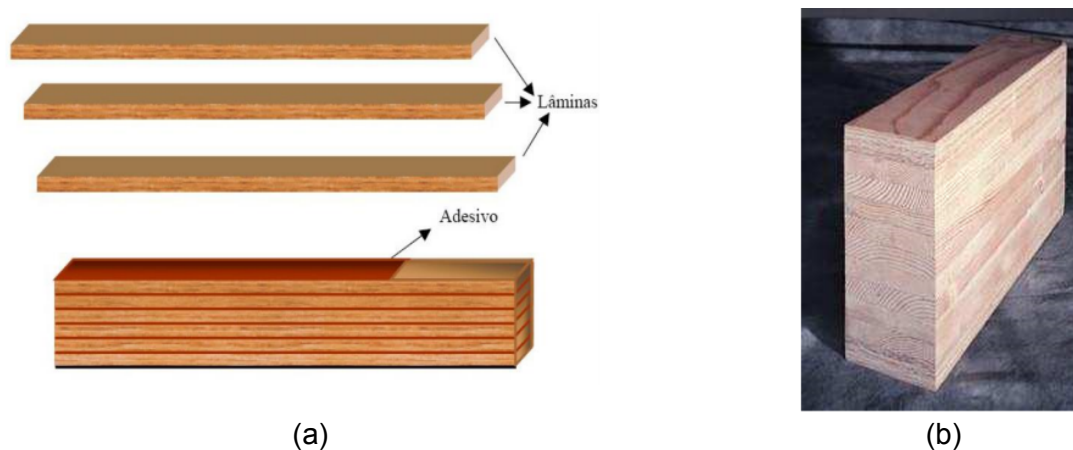
2.1 Madeira Lamelar Colada - MLC

A crescente necessidade de utilizar elementos estruturais de qualidade, juntamente com o marcante avanço na tecnologia dos adesivos e o excelente potencial madeireiro gerado pelas espécies de reflorestamento, contribuíram para o surgimento de um novo material de construção, a Madeira Laminada Colada (MLC). Este material tornou-se um dos mais importantes elementos para a aplicação estrutural, sendo utilizado com muito sucesso em várias partes do mundo, nas mais variadas formas e dimensões. A grande vantagem da técnica da MLC é que esta pode empregar, de forma racional, madeira de reflorestamento ou mesmo espécies nativas que não são ou são pouco utilizadas estruturalmente, tornando as estruturas de madeira cada vez mais competitivas, divulgadas e aceitas pelos projetistas. Entretanto, para a produção dos elementos estruturais de MLC [Figura 1, (a) e (b)] é necessário o uso de lâminas de comprimento suficientemente grande, as quais são obtidas por meio da emenda longitudinal de tábuas [Figura 2 (a) e (b)]. Estas emendas apresentam uma descontinuidade do material e conseqüentemente são regiões consideradas potencialmente fracas. Deste modo, as emendas em MLC representam, entre outros, um dos mais importantes fatores das características de resistência e elasticidade dos elementos estruturais de MLC. Três são os tipos mais comuns de emendas longitudinais em MLC, cada um dos quais apresenta suas intrínsecas vantagens e desvantagens. Alguns dos fatores que regem a utilidade destas emendas são a resistência, a facilidade e economia de produção, aparência e para o caso da MLC, principalmente, a uniformidade de desempenho.

A MLC é um produto engenheirado feito por lamelas de madeira (espessuras iguais ou superiores a 5 mm e até 5 cm, inclusive), usualmente das espécies de reflorestamento, pinus ou eucalipto, definidas como materiais autoportantes e pertencentes às Classes C30 (resistência de 30 MPa, das espécies Coníferas:), usadas em situações de solicitações com cargas não elevadas e D40 e D50 (resistências 40 e 50 MPa, espécies Dicotiledôneas) e coladas (com adesivos ou colas) verticalmente, cujas dimensões, espessuras e alturas são definidas em cálculo estrutural específico, por meio dos Estados Limites Últimos – ELU (abordando questões de Tensões normais) e Estado Limite de Serviço – ELS (de flechas), quando se trata de barras e Métodos dos Elementos Finitos, empregados de forma acadêmica e quando de uso profissional, o

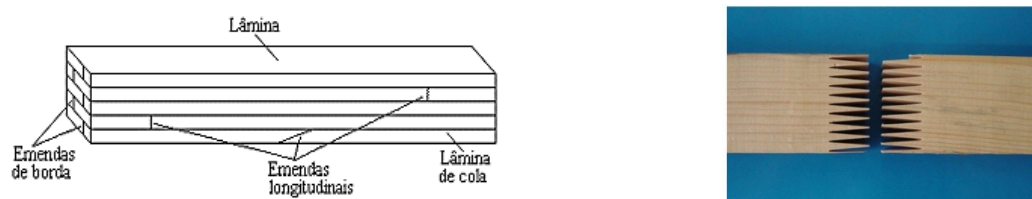
software como o *CYPECAD*, que observa os critérios de dimensionamento da norma ABNT NBR 7190:1997 – Projetos de estrutura de madeira e o *DUBLAU*, para artefatos arquitetônicos, também em madeira, entre outros.

Figura 1: Esquema geral de uma peça de MLC, (a) confecção e (b) peça pronta.



Fonte: (a) e (b) Pereira (2014).

Figura 2: Emendas



Fonte: (a) e (b) Negrão Macedo e Calil Jr (1999).

Os materiais usados na fase experimental deste estudo foram cuidadosamente examinados antes da sua aplicação e os equipamentos apresentaram precisão e controle adequados, de maneira que fosse evitada qualquer influência de defeitos do material ou má utilização dos equipamentos nos resultados obtidos. As espécies de madeira e o adesivo foram definidos devido à significativa aplicabilidade dos mesmos na

tecnologia da madeira colada, como também pelo fato de serem utilizados pelo parque produtor de MLC no país. A metodologia de fabricação dos corpos-de-prova, considerando todos os cuidados necessários, foi estabelecida com base em indicações encontradas na literatura e trabalhos anteriores realizados no LaMEM. A madeira utilizada para a confecção dos corpos-de-prova foi retirada de duas vigas de 6 cm x 25 cm de seção transversal e 350 cm de comprimento, sendo uma de *Pinus elliottii* e uma de *Eucaliptus grandis*. A madeira seca ao ar apresentava teor de umidade próximo a 12% tanto para o pinus quanto para o eucalipto. Na Tabela 1, apresenta-se a classificação das espécies de madeira, usadas nos ensaios de acordo com o que prescreve o referido projeto de norma. Estudo de emendas dentadas em madeira laminada colada (MLC): avaliação de método de ensaio

Tabela 2: Classes de resistência de espécies de madeira de reflorestamento para corpos de prova

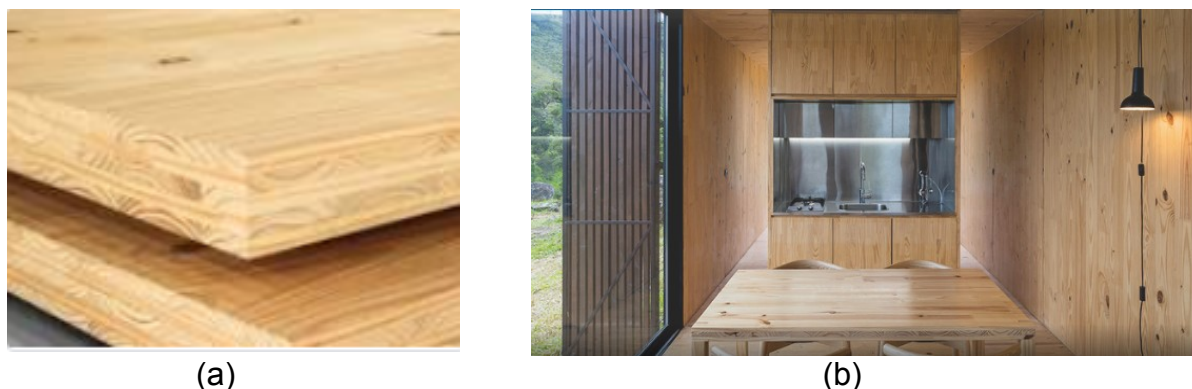
Classes de resistência					
Espécie	Classe	$f_{c0,k}$ (kN/cm ²)	$f_{v,k}$ (kN/cm ²)	$\rho_{bas,m}$ (g/cm ³)	ρ_{apa} (g/cm ³)
<i>Pinus elliottii</i>	C 30	3,30	0,79	0,40	0,50
<i>Eucaliptus grandis</i>	C 30	3,64	0,66	0,50	0,60

Fonte: Negrão Macedo e Calil Jr (1999).

2.2 Madeira Lamelar Cruzada - CLT

Popularizada na Europa e aos poucos ganhando espaço no restante do mundo, a Madeira Lamelar Cruzada, mais conhecida como Cross-Laminated Timber (CLT), destaca-se por sua resistência, aparência, versatilidade e sustentabilidade (Pereira, 2009).

Figura 3: (a) Peça em CLT e (b) peças em CLT, para acabamentos internos.



Fonte: (a) – Pereira (2014) e (b) - ArchDaily, acesso em 31/10/2019.

O material é composto por tábuas (ou lamelas) de madeira serradas, coladas e prensadas em camadas, onde cada camada de lamela orienta-se perpendicularmente à anterior. Ao unir camadas de madeira em ângulos perpendiculares, obtém-se uma maior rigidez estrutural para o painel em ambas as direções, funcionamento similar às chapas de compensado, mas com componentes mais espessos. Essa laminação cruzada reduz significativamente os efeitos de retração e inchamento do material devido às variações de umidade e resulta em um elemento de placa com expressivas propriedades de rigidez em diferentes direções (KUILEN et al., 2011; STEIGER; GÜLZOW; GSELL, 2008).

Seu uso foi iniciado para peças de infraestruturas, apoio em grandes canteiros de obra, como formas para concretagem de pontes ou mesmo como bases para tratores em terrenos instáveis, na construção de barragens, por exemplo. Aos poucos observou-se seu potencial para construções de pequeno porte, por conta de seu aspecto interessante e sua boa resistência estrutural. Atualmente há, inclusive, arranha-céus construídos com partes em CLT.

Os painéis podem funcionar como paredes, pisos, mobiliários, forros e até lajes (BRANDNER, 2013), e sua espessura e comprimento podem se adaptar a necessidade de cada projeto. Geralmente os painéis feitos de CLT são montados e cortados no próprio fornecedor, já prevendo as junções, aberturas e furações especificadas em projeto. As peças são então levadas ao terreno e apenas a montagem final é realizada no canteiro de obras. Para Silvio Lagranha Machado, sócio do MAPA, “sendo um painel sólido composto de um único material, a estrutura já é o acabamento da obra, diminuindo a necessidade de mão de obra e materiais para o aspecto final da obra. Ou seja, a própria

parede que recebe os esforços estruturais da cobertura, permanece exposta. Ainda assim, há a possibilidade de revesti-la, sem maiores problemas.”

Geralmente, as superfícies após montadas recebem apenas a aplicação de um impermeabilizante incolor e nenhum outro tipo de finalização, tornando evidentes os desenhos naturais das fibras da madeira, tornando cada peça única.

Projetos com CLT, em geral se desenvolvem rapidamente, a obra no terreno é de curto prazo, além de ser uma obra seca e rápida, com pouquíssima geração de resíduos.

Segundo Silvio, “o projeto deve ser mais cuidadoso, mais tempo de projeto acarreta em muito menos tempo de obra. E esse deveria ser o raciocínio para todos os materiais”, contrariando a cultura de obra presente no Brasil que representa projetos elaborados rapidamente e obras extensivas.

Ainda que o custo do material seja alto, questão ainda atrelada a aspectos de escala, fatores como menor tempo de obra, maior controle de qualidade e limpeza podem ser levados em conta e contabilizados na escolha. Outra questão é cultural, há, ainda, muito preconceito com casas de madeira, estigmatizado como um material menos nobre. No entanto, considerando que a indústria da construção civil ainda se apoia sobretudo em recursos não-renováveis como no caso da alvenaria, a Madeira Lamelar Cruzada -CLT pode ser uma boa opção de material de construção.

2.3 A utilização da CLT no Brasil

Segundo Mallo e Espinoza (2015), a Cross Laminated Timber - CLT é uma tecnologia de construção promissora, pois permite utilizar madeira de baixo valor para aplicações de alto valor agregado, o que contribui para uma melhor utilização dos recursos florestais. A utilização da madeira de reflorestamento também poderá ser uma resposta às preocupações de florestas devastadas. A madeira é uma alternativa de captura de gás carbônico e contribui para a recomposição da camada de ozônio. Se essa madeira for utilizada na construção civil, amplia-se a permanência do gás carbônico capturado (GONÇALVES, 2014). Contudo o custo elevado e o processo de produção atualmente ainda são predominantemente manuais e lentos no Brasil, tornando as peças de grandes dimensões cada vez mais raras e, portanto, mais caras.

Além, do custo atualmente elevado segundo Mello (2007): “A imagem da casa de madeira no Brasil está muito associada a uma moradia provisória e de baixa durabilidade e no geral em moradias brasileiras a madeira apenas tem aceitação na

composição de seus telhados, mas a grande maioria da população opta por executar a estrutura e a vedação de suas habitações em concreto armado e alvenaria”. Isto, em contraste, existem as construções luxuosas que fazem uso da Madeira Lamelar Colada, porém na maioria das vezes, estas construções luxuosas não possuem qualquer preocupação com a racionalização da produção, não acrescentando nada para o desenvolvimento de qualidade, modernização e inovação tecnológica das construções de madeira do Brasil.

Para beneficiar famílias carentes e o próprio meio ambiente, o IBAMA possui um programa de construções de casas populares de madeira apreendida em serrarias clandestinas, cujo projeto básico de moradia apresenta, de acordo com Mello (2007), um consumo aproximado de quinze metros cúbicos de madeira, incluindo as perdas. Considerando uma estimativa da quantidade das árvores admissíveis para a construção na floresta amazônica em torno de 40 bilhões de metros cúbicos, chega-se à porcentagem de 0,3% deste total para acabar com o déficit habitacional brasileiro.

2.4 A fabricação da CLT

O processo de fabricação dos painéis de CLT envolve, de maneira geral, as seguintes etapas: seleção da madeira serrada, classificação visual e mecânica das lamelas secas, aplainamento das lamelas, realização de cortes ou emendas dentadas (*finger joints*) se necessário, colagem nas faces estreitas das lamelas de uma mesma camada (opcional), organização e colagem das camadas, prensagem do painel, acabamentos, embalagem e transporte (BRANDNER, 2013; WANG; PIRVU; LUM, 2011).

Normalmente, são utilizados como adesivo os poliuretanos (PUR), que são fabricados sem adição de solventes ou de formaldeído, mas também podem ser empregados os adesivos: melanina-ureia-formaldeído (MUF), fenol-resorcinol-formaldeído (PRF) e emulsão polímero isocianato (EPI) (CRESPELL; GAGNON, 2010; WANG; PIRVU; LUM, 2011). O adesivo deve ser espalhado sobre a superfície da madeira o mais uniformemente possível. Contudo isso pode ser difícil de controlar, pouco adesivo leva a uma ligação que não atende as normas de execução. Um pouco de excesso pode servir tolerado, mas muito resulta em desperdício e pode escorrer para fora do painel (CHEN, 2011). Para garantir um melhor desempenho do adesivo e para evitar variações, o teor de umidade adequado para a madeira é $12\% \pm 3\%$. Além disso, a norma americana ANSI/APA PRG 320:2012 orienta a escolha de espécies de madeira com densidade

igual ou superior a $0,35 \text{ g/cm}^3$.

As larguras típicas das lamelas são de 0,6 m, 1,2 m e 3,0 m, podendo chegar a 5,0 m em casos específicos, enquanto que o comprimento pode ser de até 18,0 m. Deve se ressaltar que o transporte pode impor limitações ao tamanho do painel de CLT (FPINNOVATIONS, 2011), já que uma das principais utilizações são em grandes vãos.

2.5 Exemplos de obras emblemáticas em CLT

Um exemplo de construção em que se utiliza da Madeira Lamelar Cruzada – CLT, são os blocos habitacionais Puukuokka, localizados na Finlândia, projetado pelo escritório OOEPEAA, em conjunto com Lakea Oy, em 2015. A Puukuokka é um complexo de apartamentos composto de 3 edifícios de 6 a 8 pavimentos. Toda a estrutura de suporte de carga é formada pelos módulos de CLT.

Figura 4: Blocos residenciais Puukuokka - (a) e (b).



(a)



(b)

Fonte: ArchyDaily, <https://www.archdaily.com.br>, acesso em 31/10/2019.

No interior, a estrutura de CLT foi exposta nos tetos, pisos e escadas dos corredores. Na visão do escritório de arquitetura, trabalhar com CLT apresentou vários aspectos importantes: a qualidade isolante da madeira maciça permitiu controlar a temperatura de apartamentos individuais independente do espaço do corredor. Isso permite um corredor

espaçoso com muita luz, realizado de forma eficiente em termos de energia como um espaço agradável. O uso de módulos de CLT também possibilitou integrar as instalações prediais na estrutura de paredes do corredor, maximizando o espaço nos apartamentos. O uso de módulos reduziu o tempo de construção no local em até seis meses, também reduziu a exposição às condições climáticas e produziu uma maior qualidade no resultado final (OOPEAA, 2017),

O resultado estético também pode ser observado nestes outros dois exemplos de construções em que se utilizou as placas de CLT, mais precisamente em como a madeira foi valorizada em suas fachadas.

Figura 5: Zero Energy de Skilpod + UAU Collectiv



Fonte: ArchDaily, <https://www.archdaily.com.br>, acesso em 31/10/2019.

Figura 6: Residência CLT de atelier Jones



Fonte: ArchDaily, <https://www.archdaily.com.br>, acesso em 31/10/2019.

2.6 Concepções de projetos arquitetônicos

O ato de projetar artefatos arquitetônicos apresenta uma multiplicidade de abordagens, todas com a mesma intenção, a concepção de algo singular, singelo e dotado de praticidade e estética.

Dentre elas, destaca-se a do emérito Arquiteto Oscar Niemeyer que acentuava que a Arquitetura e o sistema estrutural nascem juntos para o bem do projeto. Essa abordagem, por sinal muito inteligente, privilegiava o pensar, a concepção, mas sempre com olhar intencional de se tornar algo realizável, crítica aliás que acompanha e com alguma razão boa parte dos Arquitetos por não se aterem a tal observação.

Uma abordagem peculiar é a do mais premiado e aclamado Arquiteto brasileiro, o catarinense Paulo Mendes da Rocha, formado pela Escola de Arquitetura e Urbanismo da FAU Mackenzie e Professor aposentado da FAUUSP e da FAU Mackenzie. em 2006, o arquiteto foi agraciado com o “Pritzker”, prêmio máximo da arquitetura, instituído pela Hyatt Foundation, sediada em Los Angeles, EUA. Além de outros prêmios como o Leão de Ouro da Bienal de Veneza, por sua trajetória profissional, O Prêmio Imperial do Japão e a RIBA Gold Medal 2017. O Paulinho, como é tratado por seus pares, pensa o artefato espacialmente no seu imaginário, traçando uns riscos, de forma solta, todavia com uma responsabilidade de proporções. Seu passo seguinte, é a confecção em papel de uma maquete que contextualiza essa concepção. Com essa aproximação conceitual ele pode perceber como o projeto se insere no sítio a ser implantado e já se delineando algumas ideias estruturais.

Este autor tem um repertório vasto e valioso de projetos e obras em Arquitetura, dentre elas salienta-se, o Museu Brasileiro da Escultura – MUBe, em São Paulo/Capital, localizado na Avenida Europa, no bairro, Jardim Paulistano.

Nas palavras de Mendes da Rocha o museu fica localizado numa zona residencial da cidade de São Paulo, e de início foi imaginado como um museu de escultura e ecologia. Mas decidiu-se por abrigar então no museu uma “notícia da paisagem”, ou seja, em linguagem arquitetônica remeter conceitualmnte ao seu eterno com: espelhos d’água, um grande arvoredo, bromélias e flores nativas, mesmas que foram projetadas pelo renomado paisagista Roberto Burle Marx. Além disso, o museu conteria também um acervo de esculturas da cidade, documentado e administrado a partir dali. Pelo fato de

ter se realizado apenas como museu da escultura, não foi esquecido o fato de ser imaginado como um jardim, com sombras e um teatro ao ar livre, rebaixado no recinto. A sua edificação principal não é evidente a céu aberto, a não ser por um alpendre, grande prisma reto, ou seja, um lugar de abrigo mais simbólico sobre o jardim, o Museu propriamente dito, pelo aproveitamento das diferenças de nível existentes ao longo dos limites do terreno, está projetado como um falso subsolo que, interiorizado, redesenha o lote na superfície.

Para realização deste trabalho, foi necessário o estudo e pré-visualização da construção por meio de uma maquete de papel. Levando-se em conta dimensões reais e proporções de escalas. Por meio de uma maquete é possível ter o domínio visual de todo conjunto espacial que é sua temática e por ser um modelo tridimensional, favorece a relação entre o que é observado no terreno e no mapa (Santos, 2009).

Figura 7: MUBe vista aérea.



Fonte:

<https://www.fag.edu.br/upload/contemporaneidade/anais/594c06c39b347.pdf>,
acesso em 01-11-2019.

Figura 8: MUBe vista do exterior.



Fonte:

<https://www.fag.edu.br/upload/contemporaneidade/anais/594c06c39b347.pdf>, acesso em 01-11-2019.

Uma outra abordagem sobre esta temática é expressa por um Engenheiro, Professor aposentado pela USP/Politécnica, consultor sobre concreto armado e protendido, considerado, hoje, a maior autoridade em consultoria de concreto protendido no Brasil e também emérito escritor, Augusto Carlos de Vasconcelos, ideias essas externadas no livro “Estruturas da Natureza: um estudo da interface entre Biologia e Estrutura”. Nesse livro, Vasconcelos (2000), apresenta de forma natural, a ideia que a Natureza, em seu esplendor, cria uma interface espontânea entre Biologia (ciência que estuda os seres vivos), Engenharia (ciência e arte das construções) e Arquitetura (arte de construir edifícios). Pelas próprias definições do dicionário percebe-se claramente que há uma interface bem consistente entre essas áreas de conhecimento, resultando, no caso das edificações, uma vasta gama de concepções projetuais.

3 Estudo de Caso

Essa abordagem permeia a ideia projetual e o partido arquitetônico deste *Estudo de Caso* que tem como programa funcional um *Espaço Multiuso*, pensado para a Prefeitura de São Carlos, a ser implantado ao lado do Museu a Ciência, localizado na Avenida São Carlos. A concepção baseou-se em um inseto voador, o *gafanhoto*, conforme o tema do livro do Professor Vasconcelos. Concebido em Madeira Lamelar Colada – MLC, para as vigas e pilares e Madeira Lamelar Cruzada – CLT, para a laje de forro e fechamentos/vedos.

Comporta quarenta pessoas, servindo para recitais, obras cênicas, centro cultural com palestras, brinquedoteca, entre outros. A autoria do projeto é do Professor da Unicep, Decio Gonçalves, e coautoria, da estudante de Arquitetura da Unicep, Mariana Svagera Nepomuceno.

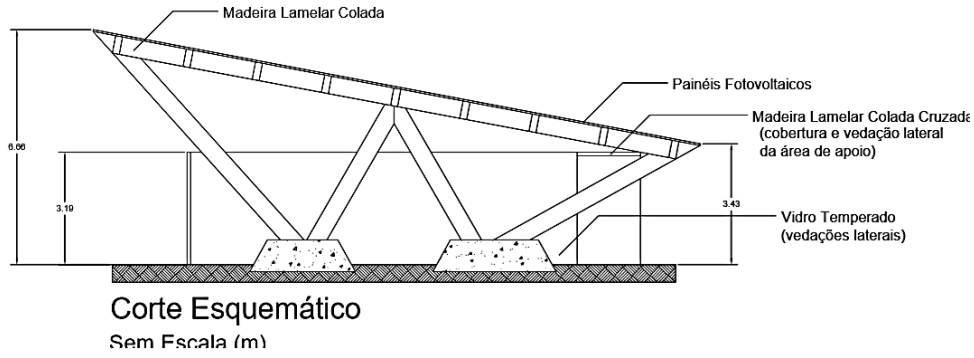
A concepção passou pelo modo singular de projetar artefatos arquitetônicos, do Arquiteto Paulo Mendes da Rocha, caracterizando o projeto por meio do papel, tendo a preocupação pela busca por uma configuração espacial, sem preocupações de escala, mas essencialmente proporcionada. Esta forma de projetar está bem definida em seu livro sobre este tema (Mendes da Rocha, 2007).

Figura 9: Maquete de papel com o tema: *projeto “gafanhoto”*.



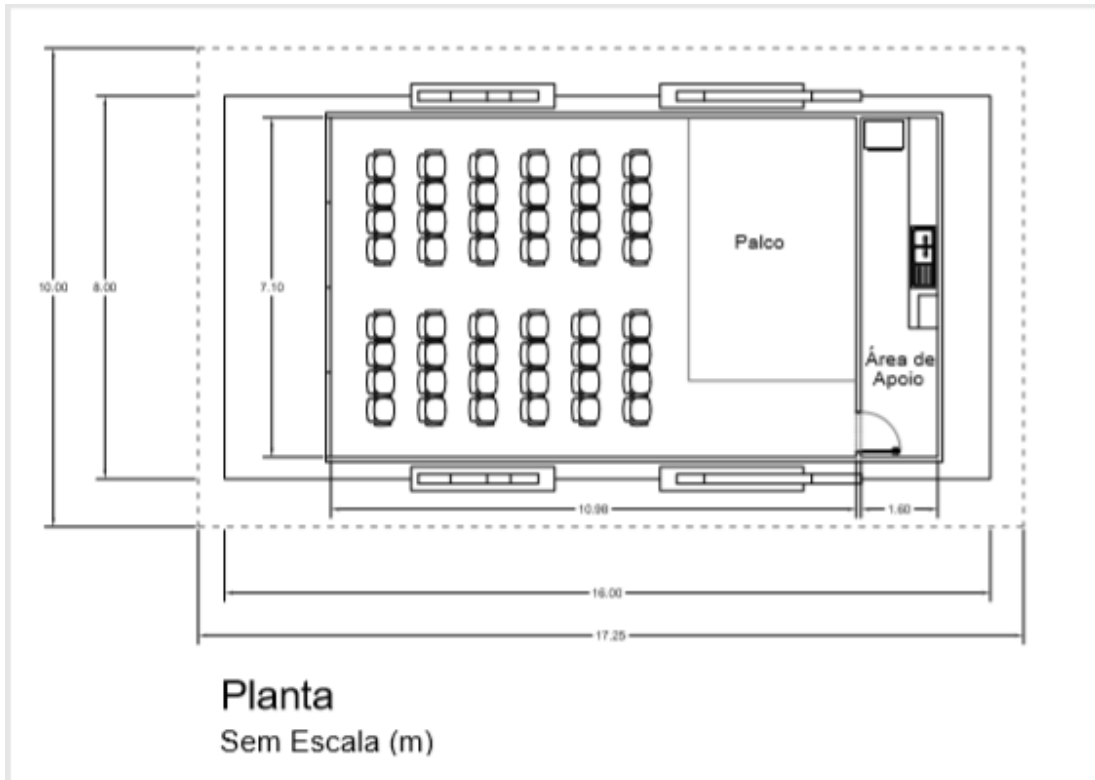
Fonte: Foto do projeto do *Estudo de caso*.

Figura 10: Planta do térreo



Fonte: Imagem digitalizada pela coautora do projeto.

Figura 11: Corte lateral.



Fonte: Imagem digitalizada pela coautora do projeto.

4 Conclusão

Pode-se concluir que, a partir das pesquisas realizadas sobre a MLC e a CLT durante a realização deste trabalho, que ambos materiais engenheirados mostram-se fortes concorrentes ao uso do concreto e do aço no campo da construção civil atual. Por serem constituídos por materiais ecologicamente corretos faz com que contribuam efetivamente para a sustentabilidade e para diminuição de resíduos em construções.

Como foi observado no trabalho, a disposição das lâminas de madeira uma sobre a outra caracteriza as principais diferenças, especificidades e suas funções. Atribuindo assim a utilização da MLC, para as vigas e pilares e a CLT, para a laje de forro e fechamentos/vedos.

Os resultados obtidos com as pesquisas realizadas foram utilizados para o detalhamento e concepção estrutural do projeto analisado no estudo de caso.

5 Referências

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. ANSI/APA PRG 320: **Standard for performance-rated cross-laminated timber**. Tacoma, 2012.

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

BRANDNER, R. **Production and technology of cross laminated timber (CLT): a state-of-the-art report**. Report– Institute of Timber Engineering and Wood Technology, Graz University of Technology, Graz, 2013.

CALIL JR, C.; ROCCO LAHR, F.A. & DIAS, A.A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. Editora Manole, São Carlos, 2003.

CALIL JR, C.; DIAS, A. A. **Utilização de madeira em construções rurais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 1, p. 71-77, 1997.
 CRESPELL, P.; GAGNON, S. (Ed.). **Cross laminated timber: a primer**. [S.l.]: FPInnovations, 2010.

GONÇALVES, D.; **Projetos Arquitetônicos em Madeira Perfilada Roliça de Reflorestamento**. Editora USP/São Carlos, Universidade de São Paulo, v.1, p. 85, 2014.

KUILEN, J. W. G. V.; CECCOTTI, A.; XIA, Z.; HE, M. **Very tall wooden buildings with cross laminated timber**. In: East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, 12, 2011, Hong Kong. Proceedings... Hong Kong: Elsevier, p. 1621-1628, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.204>.

MALLO, M. F. L.; ESPINOZA, O. **Awareness, perceptions and willingness to adopt cross-laminated timber by the architecture community in the United States**. Cleaner Production, [S.l.], v. 94, p. 198-210, 2015.

MAN YOU, C.; **Sequestro florestal de carbono no Brasil: Dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas**. p. 63. (2009)

MELLO, R. L. **Projetar em madeira: uma nova abordagem**. 2007. 195 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

MENDES da ROCHA, P. **Maquetes de papel**. Editora Cosac Naify, São Paulo, 2007.
 OOPEAA. **PUUKUOKKA HOUSING BLOCK**. Disponível em:
 <<http://oopeaa.com/project/puukuokka-housing-block>>. Acesso em: 07/10/2019.

MIOTTO. PEREIRA, M.C.M. **Metodologia para estudo da caracterização estrutural de painéis de Madeira Lamelar Colada**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos/USP São Carlos, 2014.

SANTOS, C. **A maquete no ensino de geografia**. 1.ed. Santo André: Ed. Record, 2009. 132p.

VASCONCELOS, A.C.de. **Estruturas da natureza**. Editora Studio Nobel, São Paulo, 2000.