

## EMPREGO DA MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC) EM ESTRUTURAS

Lucas Neves Marques de Souza (IC) e Prof. Doutor Celso Antonio Abrantes (Orientador)

**Apoio: PIBIC Mackenzie**

### RESUMO

A madeira laminada colada (MLC) é um sistema que se baseia na associação de lâminas de madeiras de reflorestamento, as quais são coladas sob pressão para formar peças estruturais sem restrições de dimensões, diferenciando-se do caso de madeira serrada. Devido ao aumento crescente do emprego de madeira laminada colada em estruturas que buscam ciclos sustentáveis de produção, essa pesquisa visa a apresentação de tal sistema construtivo para agentes envolvidos no mercado da construção civil. Buscando apresentar uma das formas alternativas de solução estrutural que diverge dos sistemas convencionais como o aço e o concreto, sistemas com hegemonia no cenário nacional. Para tanto são apresentados conceitos gerais importantes sobre a madeira laminada colada, podendo-se citar composição do sistema, modo de produção, tipos de espécies utilizadas na produção, emendas mais usuais, tipos de adesivos, entre outros. Buscando-se uma melhor compreensão da resistência mecânica de peças de madeira laminada colada, foram realizados ensaios à compressão paralela as fibras da madeira em corpos de prova de da espécie de Eucalyptus Grandis. São apresentados tabelas e gráficos com os resultados obtidos dos ensaios das amostras, ou seja módulo de elasticidade (MOE), assim como a resistência a compressão paralela às fibras ( $f_{c0}$ ) de cada corpo de prova.

**Palavras-chave:** Madeira Laminada Colada; Estrutura e Ciclos Sustentáveis

### ABSTRACT

The glued laminated timber (GLT) is a system that is based in an association of laminas of timber from reforestation, which are glued under pressure to create structure elements, differentiating from the lumber. Due to the increasing use of glued laminated timber in structures that seeks sustainable ways of production, this research looks to present this kind of constructive system to the professionals involved in the universe of the construction market. Aiming to show this way among many structure possibilities to a project that diverges of the regular conventional options of building using steel or concrete, system often used in the nacional scene. Therefor, general concepts of glued laminated timber are showed like system composition, ways of production, kind of species used in the production, usual emendation,

types of glue, etc. To better comprehension of mechanical resistance of the glued laminated timber, laboratories tests were done such as parallel compression of the fibre on timber samples of *Eucalyptus grandis* specie. Tables and graphics are presented with data from each of the samples, which are used to obtain the modulus of elasticity (MOE) and mechanical compression resistance ( $f_{c0}$ ) of each one of them.

**Keywords:** Glued Laminated Timber; Structure and Sustainable ways of Production.

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira, assim como a pedra, é possivelmente um dos primeiros materiais usados nas primeiras construções de abrigos primitivos executadas pelo homem. Esse material abundante na natureza fez parte de praticamente toda a história da civilização, sendo utilizado em diversificados usos nas atividades humanas, desde primitivos instrumentos de caça até nos primeiros navios utilizados nas grandes navegações.

Com avanço de novos métodos construtivos, materiais industrializados como o aço e o concreto armado (hegemonia no Brasil), acabaram por tomar o espaço central nas estruturas das edificações de uma forma geral até os dias de hoje. No Brasil, nenhum outro material de construção é tão consumido quanto o cimento, sendo ele ingrediente fundamental do concreto armado (SANTOS, 2008, p. 15).

Notoriamente, tanto os processos de produção do concreto armado, quanto o de aço, geram impactos ambientais em grande escala; sendo a indústria da construção civil a maior geradora de resíduos de toda a sociedade (SANTOS, 2008, apud SILVA, 2003, p. 46).

Dessa forma, nesse novo contexto global, as estruturas de madeira laminada colada vêm ganhando força e destaque como uma alternativa sustentável. Áreas de reflorestamento para produção de madeira são cada vez mais comuns em muitos países, sendo simples no Brasil a obtenção de madeiras com certificado de reflorestamento (ciclo sustentável de produção).

Aliado ao fato de se tratar de um material renovável, a enorme variedade de métodos industrializados de fabricação desenvolvidos ao longo do tempo, tornaram o comportamento mecânico das peças de madeira cada vez mais previsível e homogêneo.

Assim, um desses métodos estruturais que é muito difundido no mundo é madeira laminada colada: “[...] formada por associação de lâminas de madeira selecionada, coladas com adesivos sob pressão. As fibras das lâminas têm direções paralelas.” (PFEIL, 2013, p. 13).

Esse método permite a produção de peças com dimensões ilimitadas, problemas comuns nas peças de madeiras serradas como: nós, fendas, gretas, abaulamento, arqueadura, fibras reversas, emendas, ligações, entre outros; agora são minimizados ou eliminados (partes com defeitos são eliminadas na pré-seleção das peças). Existe também a possibilidade de encurvamento das peças através de prensas e moldes, aumentando a gama de possibilidades e usos das peças de madeira.

A madeira é um excelente material de construção, pois possui características como bom isolamento térmico e facilidade de fabricação de diversos produtos industrializados.

Entretanto uma característica interessante é sua ótima relação de resistência mecânica/massa específica, mostrando índices superiores ao do aço e do concreto (PFEIL, 2013). Os valores mencionados são expressos na tabela a seguir.

Tabela 1 – Tabela de resistências à esforços mecânicos

TABELA 1.1 Propriedades de alguns materiais de construção			
Material	$\rho(t/m^3)$	f(MPa)	f/ $\rho$
Madeira a tração	0,5–1,2	30–110	60–90
Madeira a compressão	0,5–1,2	30–60	50–60
Aço a tração	7,85	250	32
Concreto a compressão	2,5	40	16

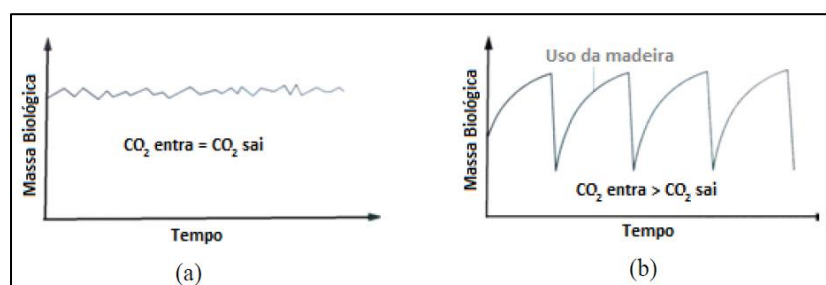
Nota:  $\rho$  = massa específica; f = resistência característica.

Fonte: Pfeil (2013, p. 1)

No mercado de trabalho atual, as empresas, clientes e políticas públicas estão demandando cada vez mais métodos construtivos que minimizem os impactos sobre os meios naturais, sendo a madeira uma das possibilidades viáveis para se atingir projetos com esse viés, obviamente sempre levando em consideração as especificidades dos projetos e da área de atuação para decisões projetuais acertadas. E por que seria a madeira considerada um material sustentável?

Segundo Wegener e Zimmer (2004), quando utilizado o correto manejo sustentável das florestas, para retirada de matéria prima como a madeira e de seus derivados, resultam em um processo que reduz os gases do efeito estufa na atmosfera. O motivo é que as florestas consolidadas mantêm seus níveis de gás carbônico em equilíbrio, enquanto as florestas em desenvolvimento absorvem grandes quantidades de gás carbônico. Esse processo é exemplificado no gráfico abaixo, sendo o 1-a referente a biomassas desenvolvidas e o 1-b de biomassas em desenvolvimento.

Gráfico 1 – Gráficos da massa biológica x tempo em florestas consolidadas e em crescimento



Fonte: Wegener & Zimmer (2004).

O que se pode depreender dos dados apresentados é que as madeiras utilizadas nas produções humanas, “sequestram” o gás carbônico da atmosfera, enquanto no meio ambiente essas madeiras se decompõem e devolveriam o CO<sub>2</sub> para atmosfera, mantendo o ciclo natural. Assim, ao passo que possamos destinar um uso adequado para essas peças produzidas de madeira, sendo a madeira um dos materiais de construção mais duráveis quando seguida sua devida manutenção (DONADON, 2016, apud RITTER, 1990), estar-se-ia retendo grandes quantidades de gases do efeito estufa, colaborando para amenização dos seus efeitos.

Além dos fatores elucidados acima, o fato da madeira laminada colada ser proveniente de grandes áreas de reflorestamento, garante-lhe um processo em um ciclo sustentável, sendo fundamental para se garantir a regeneração da biomassa de onde foi extraída.

Dessa maneira, o estudo e difusão do conhecimento da aplicabilidade da MLC, atualmente um dos protagonistas nos métodos viáveis de produção em larga escala, é uma ótima opção para boas práticas de construção, tanto para o engenheiro civil, quanto para quaisquer agentes da construção.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Como citado, no Brasil existe a difusão excessiva de construções com estruturas em concreto armado e o aço (em menor escala), sendo muitas vezes descartado pelos agentes de construções formas alternativas de opções de estruturas, pelo fato do concreto armado ter se tornado a resposta automática para a maioria das soluções nacionais.

É evidente que inúmeros outros fatores, além dos culturais, tais como: disponibilidade de mão de obra, pedra e areia em abundância, sol o ano todo, levaram o concreto armado a ser um método tão disseminado. Entretanto, para formação de profissionais atuantes da construção civil deve-se possibilitar o conhecimento do uso de outros materiais e muitas vezes mais indicados, dependendo das especificidades de cada projeto.

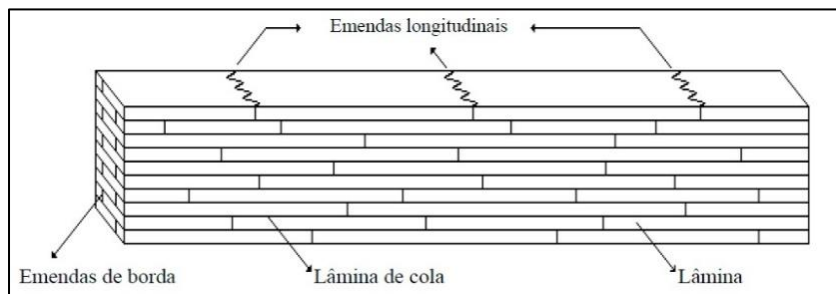
Assim, pretende-se contribuir para produção acadêmica para maior disseminação do método construtivo da madeira laminada colada (MLC) esclarecendo os tópicos como: conceito, fabricação, comportamento mecânico e aplicabilidade; minimizando a hesitação dos projetistas em se apropriar do material.

Esse método de produção de madeira é utilizado em larga escala pelo mundo, sendo as estruturas em MLC muito confiáveis e aplicáveis.

A fabricação de madeira laminada colada consiste basicamente, como o próprio nome já nos indica, do processo de associação e colagem de lâminas de madeira sobre pressão

(BERTOLINE, 2015). As espessuras das lâminas variam normalmente de 1,5 cm a 3,0 cm, podendo em casos excepcionais atingir até 5,0 cm (PFEIL, 2013, p. 13).

Figura 1 – Perspectiva esquemática da madeira laminada colada



Fonte: Macêdo (2000, p. 2)

As peças produzidas nesse processo são de madeira de reflorestamento, podendo ser madeiras nativas ou exóticas, sempre certificadas (Abrantes, 2012, p. 13). As madeiras utilizadas para laminação e colagem devem ser de baixa a média densidade, sendo os mais usuais o Cedro para meios mais agressivos e o Eucalipto e Pinus para ambientes protegidos de intempéries (ABRANTES, 2012).

O processo de colagem de lâminas de madeira foi idealizado em 1905 na Alemanha, tendo grande aceitação em toda a Europa, seguindo-se pela popularização nos Estados Unidos, assim como a industrialização de madeiras e de colas (CALLIA, 1958).

Com os avanços tecnológico da indústria química, a cola que outrora poderia ser considerada o ponto frágil da ligação dos materiais, tornou-se um produto de extrema confiabilidade, com o desenvolvimento de colas de alta resistência e insolúveis em água (ABRANTES, 2012, p. 47).

Conforme Abrantes (2012, p. 47), a madeira laminada colada em um processo natural, começa a substituir a madeira serrada por sua maior qualidade:

“Assim, a alta qualidade das colas disponíveis no mercado, associada à facilidade de obtenção de madeiras de reflorestamento certificada, proporciona a fabricação de madeiras laminadas coladas sem causar impactos ambientais e de excelente qualidade, as quais começam a substituir as madeiras serradas no uso estrutural”.

Conforme citado, as peças de MLC podem atingir uma grande diversidade de dimensões em virtude do processo de colagem e emendas, sendo as regiões subsequentes às emendas, os pontos de maior fragilidade. Ao longo do tempo, diversos tipos de emendas

foram utilizados, dentre os quais vale-se destacar as de topo, as biseladas e as emendas dentadas, também conhecidas como finger joint (MACÊDO, 2000).

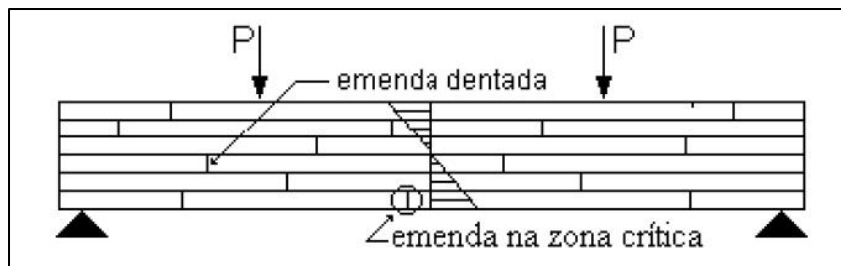
A emenda que se tornou mais usual foi a dentada (Finger Joint), devido a sua boa resistência aos limites práticos de produção, enquanto que as emendas de topo e biselada apresentavam respectivamente fragilidades nas emendas e ônus imposto pelo processo de produção (MACÊDO, 2000).

Fotografia 1: Emenda dentada (Finger Joint)



Fonte: Autor

Figura 2 – Viga de MLC bi apoiada



Fonte: Macêdo (2000, p. 5)

Nas peças estruturais com emendas dentadas submetidas aos esforços de compressão e tração, oriundos da flexão, o ponto crítico das emendas (conforme ilustrado na

figura 2) é o que tende a se romper aos esforços primeiramente, sobretudo submetido a esforços de tração (MACÊDO, 2000).

Outro processo de vital importância que está diretamente ligado a características de resistência mecânica é a colagem das lâminas de madeira, sendo três os principais elementos do processo de colagem: adesivo, adesão e aderência (ABRANTES, 2012).

As principais espécies utilizadas no país para produção de MLC são *Pinus Caribea hondurensis* e *Eucalyptus grandis*, principalmente nas regiões sudeste e sul (MÂCEDO, 2000, p. 80). A fabricação de MLC pode ser dividida em cinco etapas: secagem, classificação e seleção das peças, execução de emendas, colagem das lâminas e acabamentos (ABRANTES, 2012).

Existem dois métodos para realizar a secagem das lâminas para a fabricação da MLC, são eles o processo de secagem natural ou secagem em estufa. O processo de secagem natural consiste em desdobrar as toras e armazená-las em um local coberto e ventilado; utilizando-se espaçadores entre as peças empilhadas para favorecer a ventilação e assim uma maior rapidez no processo de secagem. Trata-se de um processo lento que pode levar até três anos para ser concluído, portanto não se mostra viável economicamente (ABRANTES, 2012, p. 53).

Já o processo de secagem em estufa é mais ágil, mostrando-se mais competitivo para produção comercial. Apesar de não apresentar a mesma qualidade de secagem do processo natural, porém a rapidez desse processo o torna comercialmente mais barato por eliminar o custo de estoque.

Segundo Abrantes (2012, p. 53), alguns efeitos indesejados nas peças podem ser gerados no processo de secagem em estufa:

“A secagem provoca deformações nas peças serradas, mais ou menos acentuadas, dependendo da posição que as mesmas ocupavam no tronco”.

A classificação e seleção das lâminas para fabricação da MLC visa a redução dos defeitos naturais comuns as madeiras (nós, fendas, gretas, abaulamento, arqueadura, fibras reversas, emendas, ligações, entre outros) e aumento da qualidade das peças estruturais a serem utilizadas.

Dessa forma, algumas lâminas são descartadas, assim como escolhidas madeiras com aparência mais homogêneas para serem locadas nas partes externas e visíveis das peças, visando a um melhor acabamento.



O processo procura desdobrar lâminas com dimensões levemente superiores das especificadas em projeto, pois leva em consideração a necessidade de acabamento posterior das peças (ABRANTES, 2012, p. 54).

A execução das emendas das lâminas é realizada em trechos com menor incidência de defeitos naturais da madeira, sendo a emenda mais usual no Brasil é a do tipo “finger joint”. As emendas são unidas de forma sucessiva com o uso de cola sob pressão até atingir-se as dimensões desejadas (ABRANTES, 2012, p. 55).

Agora com as emendas das lâminas já realizadas, as mesmas são coladas umas sobre as outras e assentadas em prensas sob pressão por algumas horas até se atingir a aderência desejada (ABRANTES, 2012, p. 55). Evita-se sempre a sobreposição das emendas das lâminas, sendo a alternância delas a forma mais recomendada de produção.

Nesse processo de permanência das peças na prensa, pode-se produzir peças de formas retas ou curvas, dependendo da forma como as peças são projetadas.

Fotografia 2 – Peça curva em dois planos.



Fonte: Autor

Figura 3 - Prensa para produção de peças curvas.



Fonte: Autor

O acabamento dá-se através de lixamento das peças, buscando o nivelamento das faces das lâminas e remoção de produtos químicos, como a cola em excesso.

Na sequência do processo, caso seja especificado em projeto, são feitos furos para as ligações, adicionados conectores e aplica-se na peça vernizes ou líquidos imunizantes.

### 3. METODOLOGIA

Foram realizados ensaios de compressão paralela às fibras da madeira, no laboratório da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Presbiteriana Mackenzie, contando com apoio técnico dos auxiliares do laboratório.

O objetivo do ensaio é a determinação do módulo de elasticidade ( $E_{c0}$ ) e da resistência à compressão paralela às fibras ( $F_{c0}$ ) da madeira em corpos de prova de madeira laminada colada da espécie *Eucalyptus grandis*. A partir dos resultados de tensão e deformação conseguimos extrair o Módulo de Elasticidade de cada peça.

A seguir, são indicados como foram obtidos os valores de resistência a compressão dos corpos de prova, seguindo os padrões da ABNT NBR 7190 (1997).

Fórmula 1 – Resistência à compressão.

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,máx.}}{A}$$

Fonte: ABNT NBR 7190 (1997, p. 50)

Sendo:  $F_{c0,m\acute{a}x}$  é a máxima força de compressão aplicada ao corpo de prova durante o ensaio, em newtons;  $A$  é a área inicial da seção transversal comprimida, em metros quadrados;  $F_{c0}$  é a resistência à compressão paralela às fibras, em megapascals.

Fotografia 4 – Corpo de Prova de Eucalipto após ruptura a compressão.



Fonte: Autor

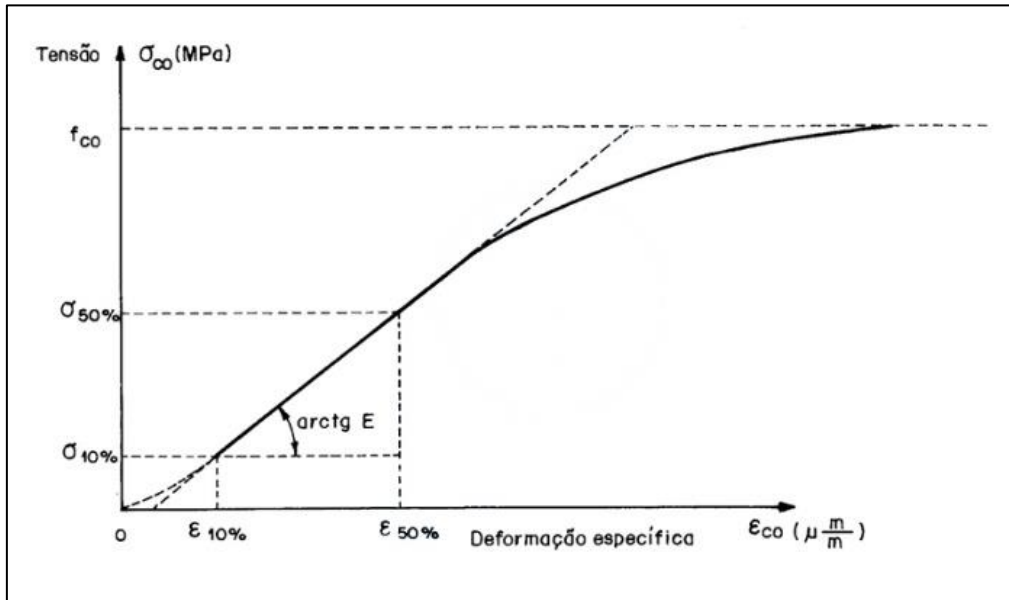
Foram utilizados 6 corpos de prova com seção quadrada de aproximadamente 6 x 6 cm e altura de 15 cm. A adoção das dimensões 6 x 6 cm em lugar de 5 x 5 cm de norma, deve-se a facilidade por ser múltiplo da dimensão da lâmina, que é de 3 cm, usando-se duas lâminas por corpo de prova.

Os resultados obtidos foram pares de valores força e respectiva deformação, sendo utilizado para as medidas de deformação um extensômetro com medidas em  $\mu\text{m}$  (micrometro) e taxa de carregamento crescente utilizada de 10 MPa/min.

A tensão ( $\sigma_{c0}$ ) é obtida dividindo-se a força pela área e a deformação específica dividindo-se a deformação pela distância entre pontos de apoio do extensômetro. Com tais pares de dados, traça-se o diagrama tensão x deformação.

Para se obter o Módulo de Elasticidade, determina-se a inclinação do trecho reto do diagrama tensão x deformação específica, definida pelos pontos dos pares deformação de 10% e tensão 10%; e na deformação de 50% e tensão 50%; conforme ilustrado no gráfico abaixo.

Gráfico 2 – Gráfico Tensão x Deformação.



Fonte: ABNT NBR 7190 (1997, p. 51)

Abaixo, são destacados como forma extraídos os módulos de elasticidade durante o ensaio, seguindo os padrões estabelecidos pela ABNT NBR 7190 (1997).

Fórmula 2 – Módulo de Elasticidade.

$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%}}$$

Fonte: ABNT NBR 7190 (1997, p. 50)

Sendo  $\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$  são as tensões de compressão correspondentes a 10% e 50% da resistência  $f_{co}$ , representadas pelos pontos 71 e 85 do diagrama de carregamento;  $\epsilon_{10\%}$  e  $\epsilon_{50\%}$  são deformações específicas medidas no corpo de prova, correspondente às tensões de  $\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$ .

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

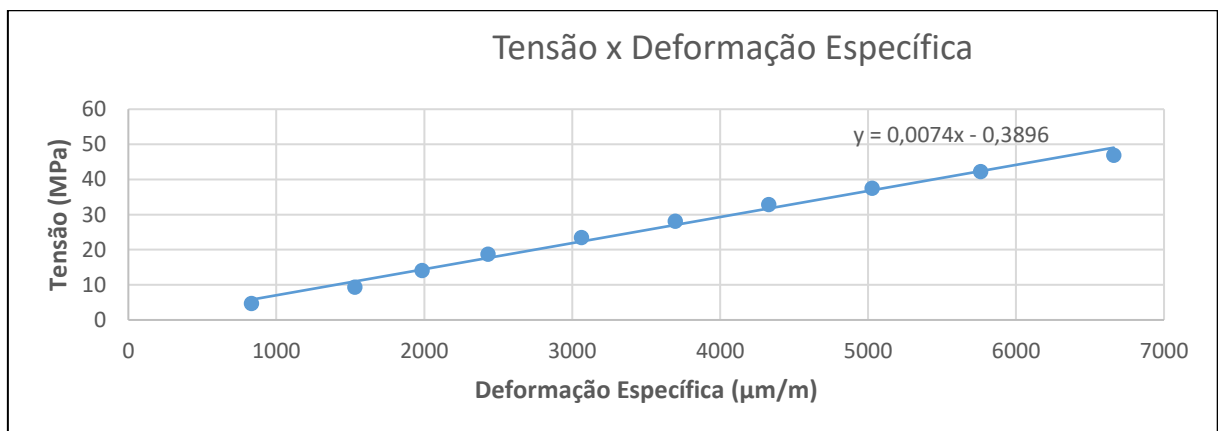
Os resultados encontrados nos ensaios são apresentados a seguir, separados pelos 6 corpos de prova ensaiados e uma tabela final com as médias:

##### Corpo de Prova 1

CORPO DE PROVA I - Eucalyptus grandis				
Carga(kgf)	Tensão(kgf/cm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Deformação (µm)	Deformação Específica (µm/m)
2000	47,9	4,7	125	833,3
4000	95,7	9,4	230	1533,3
6000	143,6	14,1	298	1986,7
8000	191,5	18,8	365	2433,3
10000	239,4	23,5	460	3066,7
12000	287,2	28,2	555	3700,0
14000	335,1	32,9	650	4333,3
16000	383,0	37,6	755	5033,3
18000	430,8	42,3	865	5766,7
20000	478,7	47,0	1000	6666,7

DIMENSÕES CORPO DE PROVA			
Largura (cm)	Comprimento (cm)	Altura (cm)	Seção (cm <sup>2</sup> )
6,94	6,02	15	41,8

Carga de ruptura (kgf)	26900
Tensão de Ruptura (kgf/cm <sup>2</sup> )	643,9
Tensão de Ruptura (MPa)	63,2
Módulo de Elasticidade (MPa)	7963

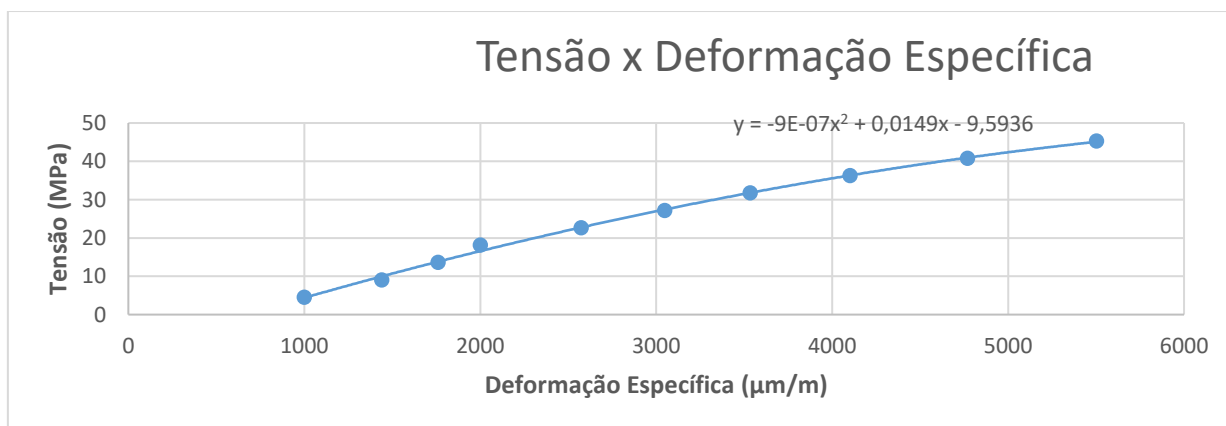


## Corpo de Prova 2

CORPO DE PROVA II - Eucalyptus grandis				
Carga(kgf)	Tensão(kgf/cm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Deformação (µm)	Deformação Específica (µm/m)
2000	46,2	4,5	150	1000,0
4000	92,4	9,1	216	1440,0
6000	138,5	13,6	264	1760,0
8000	184,7	18,1	300	2000,0
10000	230,9	22,7	386	2573,3
12000	277,1	27,2	457	3046,7
14000	323,3	31,7	530	3533,3
16000	369,4	36,2	615	4100,0
18000	415,6	40,8	715	4766,7
20000	461,8	45,3	825	5500,0

DIMENSÕES CORPO DE PROVA			
Largura (cm)	Comprimento (cm)	Altura (cm)	Seção (cm <sup>2</sup> )
7,1	6,1	15	43,3

Carga de ruptura (kgf)	26800,0
Tensão de Ruptura (kgf/cm <sup>2</sup> )	618,8
Tensão de Ruptura (MPa)	60,7
Módulo de Elasticidade (MPa)	10857



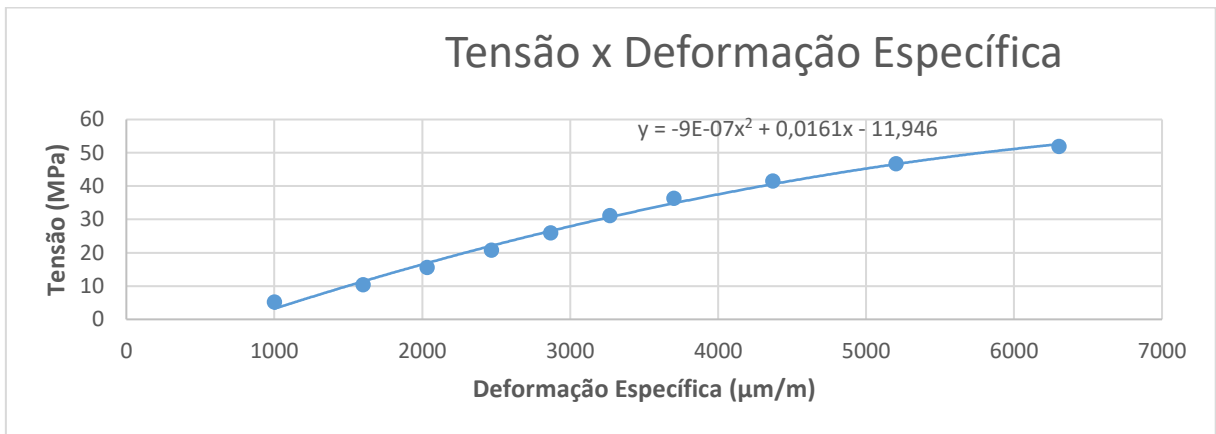
## Corpo de Prova 3

CORPO DE PROVA III - Eucalyptus grandis				
Carga(kgf)	Tensão(kgf/cm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Deformação (µm)	Deformação Específica (µm/m)
2000	52,9	5,2	150	1000,0

4000	105,8	10,4	240	1600,0
6000	158,7	15,6	305	2033,3
8000	211,6	20,8	370	2466,7
10000	264,6	26,0	430	2866,7
12000	317,5	31,1	490	3266,7
14000	370,4	36,3	555	3700,0
16000	423,3	41,5	655	4366,7
18000	476,2	46,7	780	5200,0
20000	529,1	51,9	945	6300,0

Largura (cm)	Comprimento (cm)	Altura (cm)	Seção (cm²)
6,3	6	15	37,8

Carga de ruptura (kgf)	21500,0
Tensão de Ruptura (kgf/cm²)	568,8
Tensão de Ruptura (MPa)	55,8
Módulo de Elasticidade (MPa)	12382

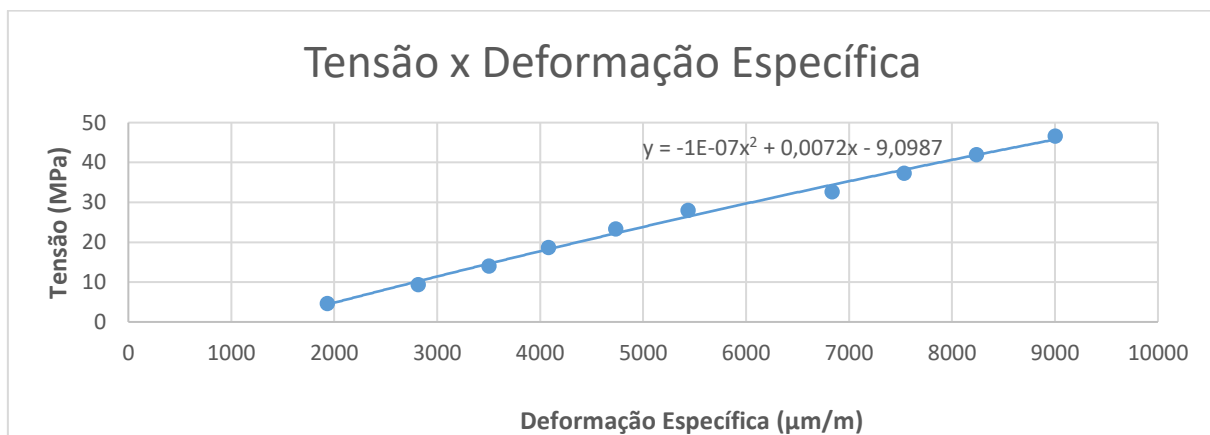


**Corpo de Prova 4**

CORPO DE PROVA IV - Eucalyptus grandis				
Carga(kgf)	Tensão(kgf/cm²)	Tensão (MPa)	Deformação (µm)	Deformação Específica (µm/m)
2000	47,5	4,7	290	1933,3
4000	95,0	9,3	422	2813,3
6000	142,6	14,0	525	3500,0
8000	190,1	18,6	612	4080,0
10000	237,6	23,3	710	4733,3
12000	285,1	28,0	815	5433,3
14000	332,6	32,6	1025	6833,3
16000	380,1	37,3	1130	7533,3
18000	427,7	42,0	1235	8233,3
20000	475,2	46,6	1350	9000,0

Largura (cm)	Comprimento (cm)	Altura (cm)	Seção (cm <sup>2</sup> )
6,9	6,1	15	42,09

Carga de ruptura (kgf)	25500,0
Tensão de Ruptura (kgf/cm <sup>2</sup> )	605,8
Tensão de Ruptura (MPa)	59,4
Módulo de Elasticidade (MPa)	6397



### **Corpo de Prova 5**

CORPO DE PROVA V - Eucalyptus grandis				
Carga(kgf)	Tensão(kgf/cm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Deformação (µm)	Deformação Específica (µm/m)
2000	46,8	4,6	162	1087,2
4000	93,5	9,2	305	2047,0
6000	140,3	13,8	450	3020,1
8000	187,0	18,3	615	4127,5
10000	233,8	22,9	730	4899,3
12000	280,5	27,5	825	5536,9
14000	327,3	32,1	925	6208,1
16000	374,0	36,7	1052	7060,4
18000	420,8	41,3	1270	8523,5
20000	467,5	45,9	1375	9228,2

Largura (cm)	Comprimento (cm)	Altura (cm)	Seção (cm <sup>2</sup> )
6,9	6,2	14,9	42,78

Carga de ruptura (kgf)	24400,0
Tensão de Ruptura (kgf/cm <sup>2</sup> )	570,4
Tensão de Ruptura (MPa)	56,0
Módulo de Elasticidade (MPa)	5229



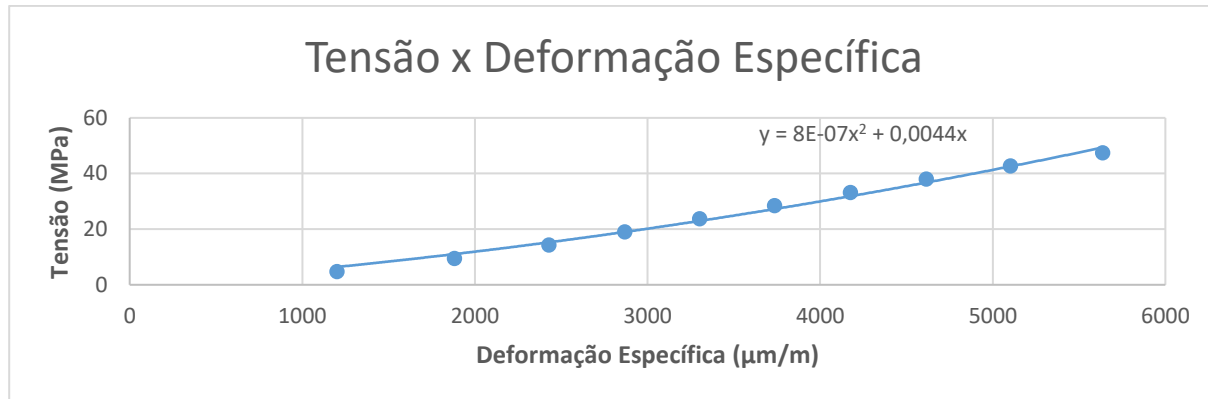


**Corpo de Prova 6**

CORPO DE PROVA VI - Eucalyptus grandis				
Carga(kgf)	Tensão(kgf/cm²)	Tensão (MPa)	Deformação (µm)	Deformação Específica (µm/m)
2000	48,3	4,7	180	1200,0
4000	96,6	9,5	282	1880,0
6000	144,9	14,2	364	2426,7
8000	193,2	19,0	430	2866,7
10000	241,5	23,7	495	3300,0
12000	289,9	28,4	560	3733,3
14000	338,2	33,2	626	4173,3
16000	386,5	37,9	692	4613,3
18000	434,8	42,7	765	5100,0
20000	483,1	47,4	845	5633,3

Largura (cm)	Comprimento (cm)	Altura (cm)	Seção (cm²)
6,9	6,0	15	41,4

Carga de ruptura (kgf)	24400,0
Tensão de Ruptura (kgf/cm²)	589,4
Tensão de Ruptura (MPa)	57,8
Módulo de Elasticidade (MPa)	8365



Fotografia 5 – Ruptura do corpo de prova IV



Fonte: Autor

RESULTADOS - EUCALIPTO GRANDIS					
Madeira Laminada Colada (MLC) (ensaio realizado)				Madeira Maciça (NBR 7190: 1997)	
$f_{c0}$ Médio (MPa)		$E_{c0}$ Médio (MPa)		$f_{c0}$ (MPa)	$E_{c0}$ (MPa)
15% de umidade	12% de umidade	15% de umidade	12% de umidade	12% de umidade	12% de umidade
58,8	64,1	8532,2	9044,0	40,3	12813,0

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas últimas décadas, entrou em cena uma questão importante que vem sendo debatida em diversos meios de comunicação, acadêmicos e políticos, alterando de forma gradual as relações que o ser humano desenvolve com o ambiente, podendo ser descrita como a tomada da consciência dos impactos gerados pelas atividades humanas no meio natural.

Pesquisas científicas têm apontado resultados inquestionáveis dos impactos negativos que nossos meios de produção e estilo de vida vêm causando na nossa biosfera, sendo o conhecido efeito estufa um dos protagonistas nessas discussões.

Assim, a madeira laminada colada mostra-se uma alternativa para produção de estruturas com um atenuado impacto sobre os meios naturais, tratando-se de um material de reflorestamento, renovável e de espécies de árvores abundantes na natureza, inclusive com aproveitamento de pequenos pedaços de galhos e troncos que antes eram descartados.

A seleção minuciosa de trechos de madeira homogênea para composição das lamelas das peças, visando a exclusão dos defeitos naturais das madeiras, deixam para trás conceitos sobre irregularidade e baixa confiabilidade da resistência das madeiras. O que ficou comprovado nos ensaios realizados com o aumento de aproximadamente 59% na resistência dos corpos de prova de MLC (64,09 MPa) em relação aos de madeira maciça (40,3 MPa) da espécie *Eucalyptus grandis* a 12% de umidade.

Entretanto, depreendeu-se também que a madeira laminada colada é um material mais deformável em relação a madeira maciça, enquanto a MLC apresentou um módulo de elasticidade ( $E_{c0}$ ) de 12% de umidade de 9044 MPa, a madeira maciça apresenta por norma 12813,0 MPa; uma redução aproximada de 30%. Sabe-se que para uma amostragem maior, os resultados poderiam variar como tendem para amostras de maior idade e de melhor localização no tronco (exemplo cerne).

Dessa maneira, as características de resistência mecânica da MLC, assim como sua versatilidade de produção de peças estruturais das mais variadas dimensões e processos industriais de produção; apontam-na como uma ótima alternativa de escolha estrutural para as mais diversas situações encontradas nos desafios projetuais.

## 6. REFERÊNCIAS

- ABRANTES, C. A. **Determinação da carga crítica de instabilidade lateral no regime linear elástico, em vigas de madeira laminada colada (MLC)**. 2012. 219 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7170: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.
- BERTOLINE, C. A. A. **Estudo teórico de vigas de madeira laminada colada reforçadas por fibras sintéticas**. 2015. 119 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- CALLIA, V. W. **A madeira laminada e colada de pinho-do-paraná nas estruturas**. 1958. 58 f. Boletim n° 47. Instituto de Pesquisa Tecnológicas-IPT, São Paulo, 1958.
- DONADON, B. F. **Estudo de vigas de madeira reflorestamento laminadas e coladas reforçadas por fibras**. 2016. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Campinas, Campinas, 2016.
- MACÊDO, A. N. **Fadiga em emendas dentadas em madeira laminada colada**. 2000. 201 F. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. - LTC, 2013. 224 p.
- SANTOS, R. E. dos. **A Armação do concreto no Brasil: história da difusão da tecnologia concreto armado e da construção de sua hegemonia**. 2008. 338 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação da UFMG, Belo Horizonte, 2008.
- SILVA, Margarete M. A. **Diretrizes para Projeto de Alvenaria de Vedação**. Dissertação (Mestrado).2003. 167 f Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- WEGNER, G.; ZIMMER, B. **Fundamental: Building with wood is building for the future**. In: Timber construction manual. Birkhäuser – Germany: Publishers for Architecture, 2004.