

## COMPARATIVOS ENTRE PAINÉIS DE CROSS LAMINATED TIMBER (CLT) PRODUZIDOS NO BRASIL

### COMPARATIVE BETWEEN CROSS LAMINATED TIMBER (CLT) PANELS PRODUCED IN BRAZIL

Marcos Cesar de Moraes Pereira <sup>(1)</sup>, Carlito Calil Junior <sup>(2)</sup>

(1) Eng. Industrial Madeireiro, Doutorando em Engenharia de Materiais, Depto. Eng. Materiais, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Brasil

(2) Eng. Civil, Prof. Tit., Depto. Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Brasil

Endereço de contato: marcoscesar@sc.usp.br

#### Código de identificação: T4-14

#### Resumo

O Cross Laminated Timber (CLT), ou MLCC (Madeira Laminada Colada Cruzada), desenvolvido no final da década de oitenta na Alemanha e na Áustria, vem sendo um dos sistemas construtivos em madeiras mais utilizados no mundo, tendo sido utilizado para edifícios multipavimentos. No Brasil, a indústria da construção não possui a tradição do uso da madeira para elementos de paredes e lajes, porém já existem indústrias em fase inicial de produção de painéis estruturais de MLCC com uso de madeiras de reflorestamento. Neste trabalho foram analisados dados referentes a dois tipos produzidos pela indústria e um tipo produzido em laboratório. O primeiro painel (painel A) foi produzido em laboratório usando madeira de pinus e adesivo estrutural MUF com 5 camadas; o segundo tipo (painel B) foi produzido na indústria com madeira de pinus e adesivo PU, com 3 camadas; e o terceiro foi produzido na indústria com painéis de LVL de pinus unidos com adesivo MUF. Os ensaios seguiram os métodos sugeridos pela norma norte americana ANSI/APA PRG320 e europeia EN 16351. Os resultados demonstraram que o painel composto por LVL unido com adesivo MUF e o painel de pinus produzido em laboratório usando adesivo MUF possuem as melhores características de resistência mecânica. No ensaio de delaminação, somente o painel de pinus unido com adesivo poliuretano não atingiu resultados satisfatórios.

**Palavras chave:** CLT; MLCC; caracterização; métodos de ensaio; madeira de pinus brasileira

#### Abstract

*The Cross Laminated Timber (CLT), developed in the late 1980s in Germany and Austria, has been one of the world's most used timber construction systems and has been used for multi-floor buildings. In Brazil, the construction industry does not have the tradition of using wood for elements of walls and slabs, but there are already industries in the initial phase of the production of MLCC structural panels with the use of reforestation woods. In this work, data were analyzed referring to two types produced by the industry and one type produced in the laboratory. The first panel (panel A) was produced in the laboratory using Pine wood and structural adhesive MUF, with 5 layer; the second type (panel B) was produced by the industry with Pine wood and PU adhesive, with 3 layers; and the third was produced by the industry with Pine LVL panels bonded with adhesive MUF. The tests followed the methods suggested by the American standard ANSI / APA PRG320 and European EN 16351. The results demonstrated that the panel composed of LVL bonded with adhesive MUF and the panel of Pine produced in laboratory using adhesive MUF have the best characteristics of mechanical resistance. In the delamination test, only the Pine panel bonded with polyurethane adhesive did not achieve satisfactory results.*

**Keywords:** CLT; characterization; Brazilian pine wood; test methods

## 1. INTRODUÇÃO

O último levantamento realizado pelo governo mostra que o déficit habitacional no Brasil chega a mais de 5,4 milhões de residências [1], e que este número deve se manter constante por alguns anos. Isso demonstra que a fatia de mercado para a construção civil de edifícios residenciais tem grande potencial de crescimento, porém é necessária otimização dos processos construtivos, de forma a abreviar o tempo de obra, que hoje leva 6 meses em média para uma casa de 100 m<sup>2</sup>, e chega a 12 meses para casas de 400 m<sup>2</sup>, em alvenaria convencional. Diferente dos países da América do Norte e Europa, a construção civil brasileira tem a grande maioria das obras residenciais feitas em alvenaria e concreto, sendo o uso da madeira basicamente para estruturas de cobertura, caixilhos, forros, pisos e acabamentos internos. Porém, dentre os materiais utilizados pela indústria da construção civil, a madeira é único material de fonte renovável, que demanda baixo consumo energético para produção, e sequestra carbono da atmosfera durante o crescimento da árvore [2]. Na tabela 1, é apresentado os valores do consumo energético para a produção dos principais materiais estruturais, em comparação com algumas propriedades físicas.

Tabela 1: Dados comparativos dos principais materiais estruturais

Propriedades	Material			
	Concreto	Aço	Madeira conífera	Madeira dicotiledônea
<b>A</b> Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	2,4	7,8	0,6	0,9
<b>B</b> Energia consumida na produção (MJ/m <sup>3</sup> )	1920	234000	600	630
<b>C</b> Resistência <sup>1</sup> (MPa)	20	250	50	75
<b>D</b> Módulo de elasticidade <sup>1</sup> (MPa)	20000	210000	10000	15000
<b>E</b> Relação entre valores de energia consumida na produção e de resistência (B/C)	96	936	12	8
<b>F</b> Relação entre valores de resistência e da densidade (C/A)	8	32	83	83
<b>G</b> Relação entre os valores do módulo de elasticidade e da densidade (D/A)	8333	26923	16667	16667

<sup>1</sup>A resistência para o concreto se refere à resistência característica à compressão, produto usinado; e para o aço se refere à tensão de escoamento do tipo MR-250, de acordo com a NBR7700 (ABNT, 1998); e para a madeira se refere aos valores médios da resistência à compressão paralela às fibras, com referência à umidade de 12%, conforme recomendação da NBR 7190 (ABNT, 1997).

Neste sentido, estão surgindo no mercado da construção civil brasileira uma maior aceitação para uso da construção industrializada em madeira, inicialmente com a introdução do woodframe e posteriormente com algumas indústrias em fase experimental de produção de CLT (Cross Laminated Timber) ou MLCC (Madeira Laminada Colada Cruzada).

O wood frame para casas consiste num sistema construtivo industrializado, estruturado em perfis de madeira, formando painéis de pisos, paredes e telhado que são combinados e/ou revestidos com outros materiais, com a finalidade de aumentar os confortos térmico e acústico, além de proteger a edificação das intempéries e também contra o fogo [2]. O CLT (MLCC) pode ser definido como um painel maciço de madeira serrada multi-camadas, onde cada uma é colada transversalmente à camada adjacente para aumentar a rigidez e estabilidade, em número ímpar de camadas, simétrica em torno da camada intermediária [3]. O MLCC também pode ser composta por chapas de LVL unidas por adesivo. Originalmente desenvolvido na Áustria, por pesquisadores da Universidade de Graz, onde

foi testado inicialmente para residências, e começou a ser difundido no mercado da construção no começo dos anos 2000, e atualmente existem diversas fábricas de grande porte fabricando este produto na Europa, América do Norte e Oceania. Um dos diferenciais competitivos do MLCC frente aos outros sistemas de construção em madeira é que, por ser um painel portante, é possível fabricar edifícios multipavimentos, principalmente aliado ao uso de vigas de madeira laminada colada – MLC.

Além das vantagens ambientais pelo uso da madeira na estrutura, o uso do MLCC em construções residenciais poderia economizar tempo em de montagem em obra, podendo contribuir para minimizar o déficit habitacional brasileiro em um espaço de tempo menor. O sistema construtivo com o uso do MLCC depende de um projeto estrutural que define as dimensões dos painéis, o posicionamento de cada um na obra, o corte para encaixe das portas e janelas. A partir da pré-fabricação na indústria, o tempo de montagem em obra é extremamente reduzido quando comparado à construção em alvenaria, além de gerar menores quantidades de resíduos e menor consumo de água e energia elétrica.

Neste sentido este estudo tem por objetivo avaliar e comparar três tipos de MLCC produzidos no Brasil, sendo o primeiro um painel produzido em laboratório para fins de pesquisa composto por madeira serrada de *Pinus spp.*, e outros dois que estão sendo desenvolvidos por empresas da iniciativa privada que visam investir no setor de construção em madeira, um deles composto por madeira serrada de *Pinus spp.* e o último por LVL de *Pinus spp.* com tratamento preservativo.

## 2. MATERIAIS E METÓDOS

### 2.1 Materiais

Os materiais utilizados foram três tipos de painéis de MLCC, sendo um deles produzido em laboratório (painel A) e os demais (painéis B e C) foram produzidos por indústrias do ramo da construção em madeira no Brasil.

- Painel A: foi produzido em madeira de *Pinus spp.* sem tratamento preservante. A produção foi feita em laboratório, com 5 camadas de 16 mm cada resultando em 80 mm de espessura final, unida com adesivo MUF – Melamina Uréia Formaldeído. Foi utilizada uma prensa hidráulica onde se obteve a pressão de 0,7 MPa durante 8 horas. As dimensões finais do painel foram 2,11 x 1,40 m.
- Painel B: produzido em madeira de *Pinus spp.* com tratamento preservante, com 3 camadas sendo a primeira e a última com 20 mm de espessura e a camada intermediária com 40 mm de espessura, resultando em 80 mm de espessura final. O adesivo utilizado pela indústria foi o Poliuretano monocomponente, e a prensagem foi realizada numa prensa a vácuo. As dimensões finais do painel foram 3,00 x 1,50 m.
- Painel C: foi produzido com uso de lâminas de *Pinus spp.*, de 3 e 5 mm de espessuras, tratadas em autoclave com produto preservante. Inicialmente as lâminas foram prensadas para a formação de painéis tipo compensado (contraplacado) utilizando a cada 3 lâminas de 5 mm na direção longitudinal, uma lâmina de 3 mm na direção transversal. Após a fabricação dos contraplacados, com espessura de 33 mm, foi feita a prensagem dos três painéis, formando assim um painel com dimensões finais de 2,44 por 1,22 m e espessura acabada de 90 mm. O adesivo utilizado foi o MUF – Melamina Uréia Formaldeído, e o processo de prensagem foi feito com uso de prensa hidráulica.



Figura 1: Modelos dos painéis de MLCC utilizados nos ensaios

## 2.2 Métodos

Os ensaios realizados foram flexão na direção transversal e longitudinal para obtenção do Módulo de Elasticidade dos painéis, ensaios de delaminação para verificação da qualidade da ligação madeirado-adesivo e ensaios de cisalhamento para verificação do Cisalhamento Perpendicular (Rolling Shear).

A quantidade de painéis ensaiados foram dois para os tipos B e C, e de um para o tipo A. O número de ensaios de flexão foi dois em cada painel. Para os demais ensaios foram utilizados oito corpos-de-prova tanto para o teste de delaminação como para o teste de cisalhamento perpendicular.

- **Ensaio de flexão:** para a realização do ensaio de flexão foram utilizados um pórtico de aço montando sobre uma laje de reação onde os painéis foram colocados conforme o esquema apresentado na figura 2. O ensaio foi feito com dois apoios simetricamente posicionados e uma carga distribuída no meio do vão. A aplicação da carga foi feita através de equipamentos hidráulicos e a medição dos deslocamentos foi feita através de transdutores posicionados na parte de baixo do painel. A partir destes dados é feito o cálculo do MOE.

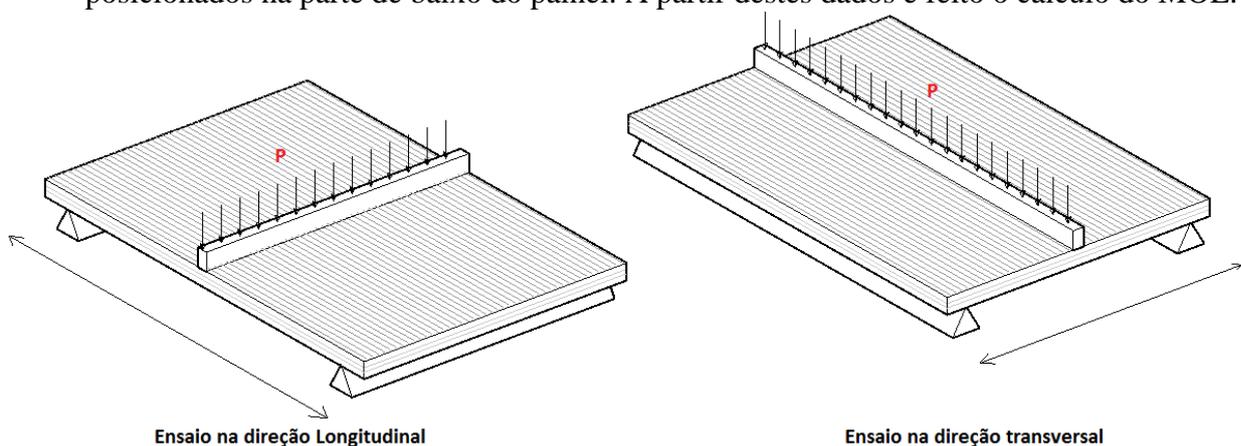


Figura 2: Esquema dos ensaios de flexão

- **Ensaio de delaminação:** Os testes de delaminação seguem os requisitos da ABNT PN 02:126.10-001-5 [4] Madeira laminada colada estrutural: métodos de ensaio. Foram considerados os métodos para elementos de uso interior e também pelos requisitos da norma europeia para MLCC, EN 16351/2015 [5]. Para estes ensaios, os corpos-de-prova com dimensões de 100 x100 mm foram pesados e em seguida submetidos a um ciclo de vácuo-pressão e imersão em autoclave, seguido de uma secagem em estufa. Na autoclave

o ciclo foi de vácuo de 70 kPa e 85 kPa por 30 minutos e pressão de 500 a 600 kPa por 2 horas. Este ciclo foi repetido uma segunda vez, atingindo um tempo total de 5 horas e posteriormente os corpos-de-prova foram levados à estufa em temperatura entre 25 e 35°C e humidade entre 25 e 35% com velocidade do ar entre 2 e 3 m/s. Após este período, os corpos-de-prova foram novamente pesados e tiveram os comprimentos das aberturas na linha de cola medidas com uso de uma régua milimetrada. Para ser consideradas não delaminadas, a soma das delaminações da linha de cola não pode ser superior a 10% do valor da soma do perímetro do corpo-de-prova comprimento total das linhas de cola do corpo-de-prova.

- Ensaio de Cisalhamento para obtenção do valor do Cisalhamento Perpendicular (Rolling Shear): este ensaio utilizou corpos-de-prova com comprimento de 8 vezes a altura ( $L=8h$ , sendo  $h$  a altura do corpo-de-prova). Este teste segue a norma ASTM ISO 13910:2005 [6], onde se determina o cisalhamento em peças fletidas, sendo o vão livre utilizado de 6 vezes a altura da peça. A figura 3 ilustra a realização do ensaio.



Figura 3: Ensaio de Flexão para avaliação do cisalhamento perpendicular; a) corpo-de prova antes do ensaio; b) corpo-de-prova após ensaio com as camadas transversais apresentando cisalhamento perpendicular

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Determinação do módulo de elasticidade MOE na flexão

A tabela 2 apresenta os valores dos Módulos de Elasticidade MOE obtidos a partir do ensaio de flexão nas duas direções. Os valores obtidos foram comparados aos valores mínimos exigidos pela norma americana e canadense ANSI/APA PRG 320/2011 [7], para madeira categoria E3 classificada mecanicamente de Eastern Softwoods, Northern Species, ou Western Woods MSR em todas as lamelas longitudinais e perpendiculares com, no mínimo, 1200f-1.2E de resistência e rigidez, ou seja, 1200 psi (8,2 MPa) de resistência à flexão e  $1,2 \times 10^6$  psi (8200 MPa) de módulo de elasticidade na rigidez, conforme a tabela 1 do apêndice A da referida norma. Também foi usado como base de comparação os valores definidos pela norma europeia EN 338/2009 [8] para conífera C20, considerando as classes de serviço 1 e 2 definidas pela norma europeia EN 1995-1-1/2004 [9] e classificação definidas pela norma EN 14081/2005 [10]. A figura 4 apresenta a realização de um dos ensaios.

Tabela 2: Valores do MOE na direção longitudinal e transversal

Painel	Direção Longitudinal ( $E_0$ )		Direção Transversal ( $E_{90}$ )	
	MOE médio (MPa)	Coefficiente de Variação (%)	MOE médio (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
Painel A	6732	2	1433	3
Painel B	5536	3	1080	19
Painel C	12696	1,5	564	11

Os valores na direção longitudinal demonstraram que o painel C produzido com LVL obteve melhor modulo de elasticidade, o que se deve ao número de laminas resistindo ao carregamento (22 laminas de 3 mm cada), e foi o único dos três painéis a atingiram os valores de referência das normas utilizadas como comparativo. Para a direção transversal, os valores obtidos mostraram a tendência inversa do ensaio na direção longitudinal, sendo que o painel C produzido com LVL obteve módulo bem abaixo dos valores dos demais painéis, sendo que para esta direção de aplicação da carga o painel tem apenas 6 laminas de 2 mm resistindo ao carregamento. Os três painéis não atingiram o valor de referência da norma americana, porém atingiram os valores da norma européia. Os valores de referência estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Valores do MOE usados como referência

	MOE ( $E_0$ ) de referência pela norma ANSI/APA madeira classe E3 (MPa)	MOE ( $E_{90}$ ) de referência pela EN 338 para C20 (MPa)
Direção Longitudinal	8300	9500
Direção Transversal	6500	320



Figura 4: Ensaio de Flexão Longitudinal no Painel B

### 3.2 Ensaio de delaminação

A tabela 4 apresenta os valores em percentagens do resultado obtido no ensaio de delaminação, sendo que os corpos-de-prova que tiveram fissuras com comprimentos acima dos permitidos foram considerados reprovados.

Tabela 4: Resultados do ensaio de delaminação

Painel	% corpos-de-prova aprovados
Painel A	100%
Painel B	8%
Painel C	100%

Este ensaio é de fundamental importância para a avaliação da qualidade da colagem, de forma que caso haja falha na colagem durante o uso estrutural do painel, pode haver vir a causar a ruptura do elemento e a ruína da estrutura como um todo. O painel B foi o único que apresentou falhas na qualidade da colagem e isso se deve principalmente ao fato da prensagem utilizada não ser suficiente para atingir a pressão recomendada pelo fabricante do adesivo, que no caso é de 1 MPa, sendo que a prensa a vácuo somente poderia obter o equivalente a 1 ATM (0,1 MPa). Os demais painéis foram prensados em prensas hidráulicas, de maneira que atingiram as pressões exigidas para garantir a boa adesão entre as lamelas.

### 3.3 Ensaio de Cisalhamento Perpendicular (Rolling Shear)

A tabela 5 apresenta a média dos resultados obtidos no ensaio de cisalhamento perpendicular na linha de cola (rolling shear) dos painéis estudados.

Tabela 5: Resultados do ensaio de cisalhamento na linha de cola

	Painel A	Painel B	Painel C	Requisito da ANSI/APA PRG 320 (MPa)
Média da tensão de cisalhamento perpendicular (MPa)	3,08	2,65	2,66	1,3
Coefficiente de Variação (%)	10	14	6	

A análise do cisalhamento perpendicular é importante no uso do MLCC em lajes (painéis fletidos), pois durante o carregamento da estrutura o efeito da força de tração pode gerar um cisalhamento entre as camadas, de maneira que as fibras da camada intermediária podem cisalhar e assim perder a rigidez do painel. Os valores obtidos demonstram que o painel C produzido com LVL e o painel B obtiveram resultados semelhantes, e o painel A produzido em laboratório obteve valor maior, mas todos os três atendem os requisitos da norma americana.

## 4. CONCLUSÕES

O estudo comparativo dos painéis mostrou que o painel produzido com LVL de pinus unido com adesivo MUF (painel C) e o painel produzido em laboratório (painel A) foram os que tiveram os melhores resultados haja visto que o Painel B foi reprovado no teste de delaminação na linha de cola. Os dois melhores utilizaram o adesivo a base de melamina ureia-formaldeído (MUF), enquanto o outro utilizou o adesivo a base de poliuretano (PU), porém o que mais afetou a qualidade da colagem não foi o adesivo e sim o tipo de prensagem, que para os dois melhores foi utilizado uma prensa hidráulica, enquanto para o outro foi usada uma prensa à vácuo. Isso evidencia que o uso da pressão

recomendada pelo fabricante do adesivo é de suma importância e que o tipo de prensa mais adequada é a hidráulica.

O comparativo entre os dois painéis produzido com lamelas de madeira serrada (painel A e painel B) e com dimensões semelhantes, diferenciando somente no número de camadas e no tipo de adesivo – MUF no painel A e PU no painel B – obtiveram resultados similares, sendo que o painel A obteve resultados levemente superiores nos ensaios de cisalhamento, (15% maior), e flexão transversal, (25% maior), além do ensaio de delaminação, porém não é possível concluir que o número de camadas interferiu na resistência.

O comparativo com as normas norte-americanas e europeias foi feito para balizar os valores obtidos pelos painéis produzidos no Brasil, porém não é possível inferir um comparativo com os valores das normas, haja visto que a característica da madeira norte americana e europeia tem propriedades físicas e mecânicas diferentes da brasileira.

O documento normativo norte-americano ANSI/APA PRG 320 define, baseado na classe de resistência da madeira serrada e da classificação visual e mecânica, a resistência e rigidez mínima para os painéis de MLCC para os fabricantes daqueles países comercializarem seus produtos na América do Norte. Da mesma forma, os documentos normativos europeus, (EN 16351, EN 338, EN 14081 e EN 1995-1-1), além da classe de resistência da madeira considera a classe de carregamento, que por sua vez considera umidade e temperatura de serviço, e baseado nos procedimentos determinados por estas normas, os fabricantes submetem seus painéis a testes para obtenção da chamada Aprovação Técnica Europeia (ETA), com a qual é possível obter o selo CE (comunidade europeia) para comercialização do produto dentro da União Europeia. Seguindo estes exemplos, é necessário que haja uma normalização dos procedimentos de ensaios, definição de classes de resistência mínimas, classificação visual e mecânica para confecção dos painéis de MLCC no Brasil, já que estão surgindo indústrias em fase inicial de implantação deste sistema construtivo no país. Os resultados demonstram que a mesma espécie de madeira (*Pinus spp.*) proveniente da mesma região do país (região sul) produziu três painéis de MLCC com resistência e rigidez com diferenças substanciais de valores, evidenciando que a manufatura, o tipo de adesivo, o tipo de prensagem, o tipo de laminação, tem grande interferência no resultado final do material. Em um país onde há centenas de espécies de madeira, (de nativas folhosas à coníferas de reflorestamento), é necessário um grande esforço no sentido de definir as melhores configurações de espécie *versus* adesivo *versus* tratamento preservante. Ressalta-se ainda que a importância da normalização de valores mínimos de resistência e rigidez para o MLCC no Brasil vai além do início da manufatura por parte de algumas empresas, já que existe a possibilidade de importação dos painéis de fábricas instaladas em países da América do Sul, ou mesmo da Europa e América do Norte, onde estes deverão atender os requisitos exigidos para uso no país.

## REFERÊNCIAS

- [1] Furtado BA, Correia V, Neto L, Krause C. Nota técnica - Estimativas do déficit habitacional brasileiro (2007-2011) por municípios (2010). Ipea. 2013;(2010).
- [2] Molina JC, Calil Junior C. Sistema construtivo em “wood frame” para casas de madeira. Semin Ciências Exatas e Tecnológicas [Internet]. 2010;31(2):143. Available from: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/view/4017>
- [3] Augustin M. Handbook1: Timber Structures. Leonardo Da Vinci Pilot Project and TEMTIS - Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structure. 2008. 243 p.
- [4] ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. PN 02:126.10-001-5 Madeira laminada colada estrutural: métodos de ensaio. 2013.
- [5] CEN EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Timber structures. Cross laminated timber. Requirements, EN 16351/2015. Belgica; 2015 p. 2–102.

- [6] ISO. Structural timber - Characteristic values of strength-graded timber - Sampling, full-size testing and evaluation; ISO 13910. 2005.
- [7] ANSI/APA PRG 320-2011. Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber. 2011.
- [8] CEN EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Structural timber - Strength classes, EN 338. Belgica; 2009.
- [9] CEN EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, EN 1995-1-1:2004. Belgica; 2004.
- [10] CEN EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Timber structures. Strength graded structural timber with rectangular cross section, EN 14081-1:2005. Belgica; 2005.