

Ligações em painéis de Cross Laminated Timber - CLT

Cross Laminated Timber - CLT panel connections

Conexiones del panel de madera laminada cruzada - CLT

SILVA, Ricardo Dias

Doutor, Docente no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - PPU na Universidade Estadual de Maringá – UEM. Endereço Eletrônico: rdsilva@uem.br

ALMEIDA, Amanda Ceinoti de

Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Estadual de Londrina – UEL, Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPU na Universidade Estadual de Maringá. Endereço eletrônico: amanda-ceinoti@hotmail.com

MOURA, Jorge Daniel de Melo

Doutor, Docente no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - PPU na Universidade Estadual de Londrina – UEL. Endereço Eletrônico: jordan@uel.br

RESUMO

O Cross Laminated Timber (CLT) é um sistema construtivo que vem ganhando destaque na construção civil nos últimos anos devido as questões de sustentabilidade, visto que este sistema tem como matéria-prima a madeira de floresta plantada. A fomentação do CLT desperta o interesse e a preocupação de projetistas, engenheiros e arquitetos quanto à padronização do produto e às necessidades de pesquisas sobre o assunto, entre eles as ligações entre painéis de CLT. Sendo assim, este trabalho tem por objetivo discutir algumas ligações feitas, testadas e desenvolvidas para o CLT entre 2007 – 2017. A investigação consiste em compreender os métodos utilizados em testes de ligações, os tipos de testes, as dimensões dos corpos de provas e as normas. Para tanto, faz-se uma revisão de artigos selecionados em periódicos científicos e opta-se pelos estudos de autores com maior influência nesta área de conhecimento. Atenta-se ainda para os métodos e normas empregadas em cada pesquisa. Finda-se a pesquisa mostrando-se os aspectos frágeis das ligações observadas nesta revisão.

PALAVRAS-CHAVES: *cross laminated timber*, ligações em CLT, norma, metodologia de projeto.

ABSTRACT

The Cross Laminated Timber (CLT) is a construction system that has been gaining prominence in civil construction in recent years due to sustainability issues since this system uses plantation lumber as raw material. The promotion of the CLT arouses the interest and concern of designers, engineers and architects regarding the product standardization and research needs on the subject, including connections to CLT panels. Therefore, this paper aims to discuss some of the CLT connections, tested and developed between 2007-2017. The research also consists of the understanding of the methods used in tests, the test types, the dimensions of the specimens and the standards. For this, a literature review was performed and authors with greater influence in this area are chosen. Special attention is driven to the methods and norms chosen in each research. Finally, the research shows the weak points of such connections in this review.

KEYWORDS: *cross laminated timber*, connections in CLT, standards, design methodology.

RESUMEN



PROJETAR
GRUPO DE PESQUISA EM
PROJETO DE ARQUITETURA
E PERCEPÇÃO DO
AMBIENTE



La Madera Laminada Cruzada (CLT, por sus siglas en inglés) es un sistema de construcción que ha ganado importancia en la construcción civil en los últimos años debido a problemas de sostenibilidad, ya que este sistema tiene madera de reforestación como materia prima. La promoción de CLT despierta el interés y la preocupación de los diseñadores, ingenieros y arquitectos con respecto a la estandarización del producto y las necesidades de investigación sobre el tema, incluidos los enlaces entre los paneles de CLT. Por lo tanto, este documento pretende analizar algunas de las conexiones realizadas, probadas y desarrolladas para CLT entre 2007 y 2017. La investigación también consiste en comprender los métodos utilizados en las pruebas de conexión, los tipos de pruebas, las dimensiones de los cuerpos de prueba y la normas. Para ello, se realiza una revisión de artículos seleccionados en revistas científicas y se elige a los autores con mayor influencia en esta área. También está atento a los métodos y normas elegidos en cada investigación. Finalmente, la investigación ha finalizado con las deficiencias observadas en esta revisión.

PALABRASCLAVE: Madera laminada cruzada, eslabones en CLT, norma, metodología del proyecto.

1 INTRODUÇÃO

O Cross Laminated Timber - CLT é uma tecnologia de construção civil relativamente nova, apesar de o seu surgimento ter se dado em meados da década de 1990. O CLT é um sistema construtivo constituído por lâminas de madeira serrada coladas em camadas perpendiculares que origina um painel estrutural de madeira maciça.

Essa técnica tem-se difundido com maior intensidade nos países europeus e nos últimos anos também ganhou espaço na América do Norte (MOHAMMAD et al., 2012). A disseminação do CLT, é justificada pelo uso da madeira proveniente de floresta plantada, qualificando o produto como técnica construtiva sustentável.

A fomentação do CLT desperta o interesse e a preocupação de projetistas, engenheiros e arquitetos quanto a padronização do produto. Brandner (2013) afirma que para a exploração máxima e confiável do potencial do CLT, assim como a distribuição mundial da tecnologia é preciso o estabelecimento de normas.

Ainda segundo o autor, é essencial constituir regulamentos internacionais sob a forma de padrões que compreendem as cinco áreas: "produção e garantia de qualidade", "teste e avaliação", "design e verificação", "construção e montagem" e "técnica de ligação".

De acordo com a pesquisa realizada por Espinoza *et al* (2016) as principais barreiras para a adoção do CLT é a compatibilidade do código de construção e a disponibilidade de informações técnicas. No quesito de necessidades mais urgentes de pesquisas sobre o assunto para o CLT avançar, enquanto material de construção, as particularidades mais pontuadas foram: o desempenho estrutural, o desempenho face a variação de umidade e as ligações.

As ligações entre painéis de CLT são comumente feitas com conectores metálicos, pregos e parafusos. Diversas pesquisas são realizadas sobre esta temática, principalmente para avaliação do comportamento de ligação e da estrutura CLT para áreas de abalos sísmicos.

Portanto, este trabalho tem por objetivo discutir alguns tipos de ligações feitas, testadas e desenvolvidas para o CLT entre os anos de 2007 – 2017. A investigação também consiste em compreender os métodos utilizados nas pesquisas selecionadas, os tipos de testes, as dimensões dos corpos de provas e as normas nas quais os estudos foram embasados.

Nesta investigação, o método empregado parte da revisão bibliográfica, buscando apresentar algumas pesquisas e estudos realizados nesta área. Os dados são extraídos de artigos publicados em periódicos revisados por pares e selecionados a partir da relevância dos autores de destaque nessa temática.

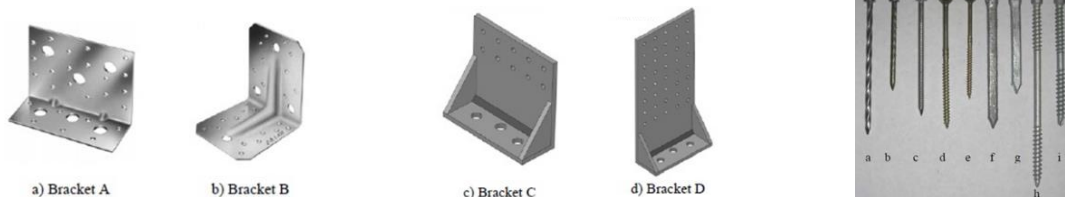
2 LIGAÇÕES ENTRE PAINÉIS DE CLT: ALGUMAS PRODUÇÕES E PESQUISAS NA ÁREA

As ligações em CLT, normalmente são realizadas com pregos, parafusos e conectores metálicos. Entretanto, nos últimos anos, com a difusão desta tecnologia, muitas investigações têm sido realizadas sobre as ligações em CLT, principalmente, avaliações sobre o comportamento das mesmas para áreas que sofrem abalos sísmicos.

Em 2010, Popovski; Schneider e Schweinsteiger realizaram 32 testes monotônicos e cíclicos, a fim de analisar o comportamento de painéis paredes de CLT. Os painéis foram compostos por três camadas, com 94mm de espessura de madeira da espécie abeto europeu e a definição das dimensões dos painéis ficou atrelada ao invólucro de transporte. Ao todo 12 configurações diferentes foram testadas, para três tipos de relação com as seguintes dimensões: 1:1 (2,3m x 2,3m); 1:1,5 (2,3m de altura e 3,45m de comprimento) e 2.1:1 (4,9m de altura e 2,3m de comprimento). As ligações tiveram quatro tipos de conectores (Figura 1), que fixava os painéis parede a fundação de aço, com pregos e parafusos (figura 1). Nas conexões entre dois painéis paredes também foram empregados parafusos e pregos. O ensaio tinha o objetivo de analisar o desempenho estrutural sob cargas laterais.

Figura 1: Os quatro tipos de conectores metálicos e parafusos de fixação.

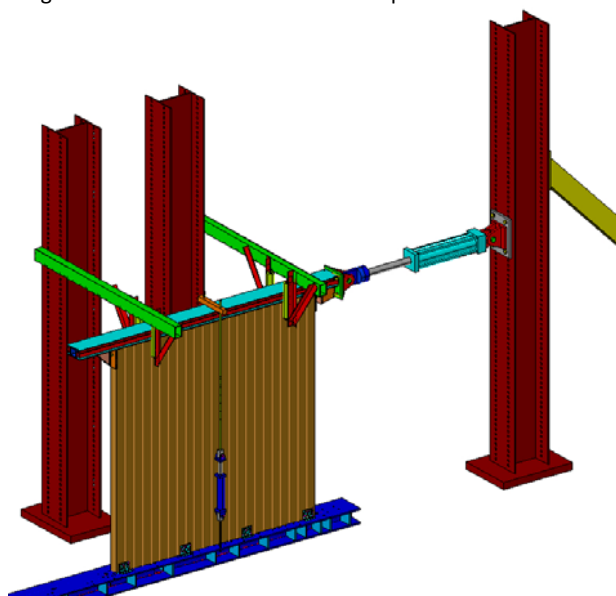




Fonte: Popovski; Schneider; Schweinsteiger, 2010.

As paredes foram sujeitas a carregamentos laterais monótonicos e cíclicos aplicadas por um atuador hidráulico de 110 kN (Figura 2). Para as paredes sujeitas a cargas monotônicas, as taxas de deslocamento foram de 0,2 mm/s e 0.4 mm/s.

Figura 2: Atuador hidráulico utilizado para os testes em CLT.

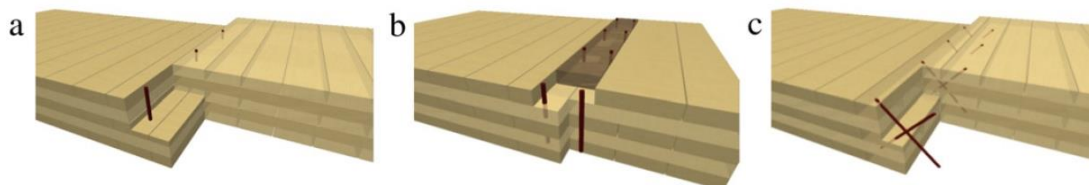


Fonte: Popovski; Schneider; Schweinsteiger, 2010.

Para os testes cíclicos – que tiveram por objetivo a análise para locais sujeitos a abalos sísmicos – foram utilizados os métodos: CUREE- Método C especificado pela ASTM E 2126 (2009) e o da ISO 16670. Os pesquisadores concluíram que os conectores fixados com pregos e parafusos ao CLT e a fundação apresentaram desempenho significativamente bom para áreas de abalos sísmicos.

Fragiacomo, Dujic e Sustersic (2011) fizeram um estudo para investigar ligações entre painéis de CLT para edifícios de vários andares sob ações sísmicas. Os autores compararam três possibilidades de ligações em CLT (figura 3) para conexão de piso-piso, constatando que a mais indicada para áreas de abalos sísmicos é a do tipo “c” mostrado na figura 3.

Figura 3: Possibilidade de configurações de ligações entre painéis de CLT.

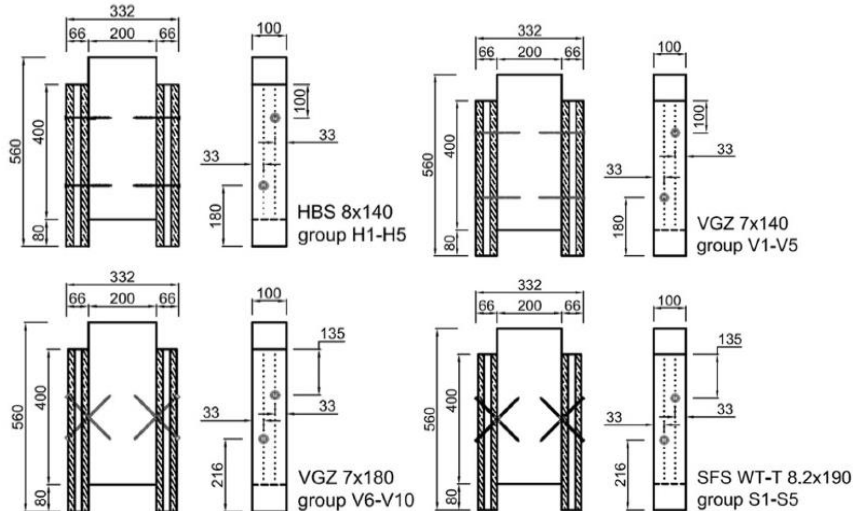


Fonte: Fragiacom; Dujic; Sustersic, 2011.

Posteriormente, Fragiacom, Dujic e Sustersic (2011) apontam algumas críticas a respeito da falta de especificações no Eurocode 8 e Eurocode 5 para projetar estruturas de CLT em áreas sob ações sísmicas.

Branco; Kekeliak e Lourenço (2015) analisaram as ligações de painéis CLT em uma placa de madeira maciça da classe C18 estipulada pela norma EN 338, conforme exibido na figura 4. A placa é o elemento central, enquanto os painéis CLT são conectados nas laterais.

Figura 4: Configuração dos corpos de provas (dimensões em milímetros).



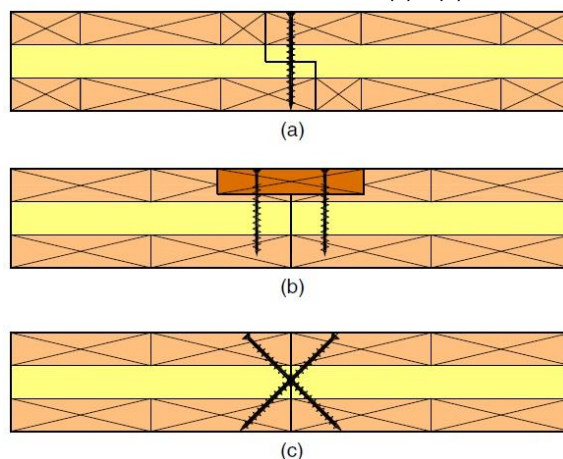
Fonte: Branco; Kekeliak; Lourenço, 2015.

Foram avaliados 20 corpos de prova, por meio de testes *push-out* (EN 26891: 1991), divididos em quatro grupos de cinco, variando de acordo com o tipo de parafuso e as inclinações de 45° e 90° em relação ao plano de cisalhamento.

O resultado encontrado por Branco; Kekeliak e Lourenço (2015) é de que o valor médio da capacidade de carga da conexão com parafusos inclinados a 45° é cerca de uma vez e meia maior do que os colocados a 90° em relação ao plano, enquanto nos testes de deslocamento, a rigidez em 45° foi seis vezes e meia mais alta do que a 90°.

Na investigação de Hossain; Danzing e Tannert (2016) o objetivo foi analisar a conexão de painéis paredes com junta simples (c) e parafusos locados em ângulo, conforme esboçado na figura 5, que normalmente são feitas como em (a) *half-lap* e (b) *surface spline*.

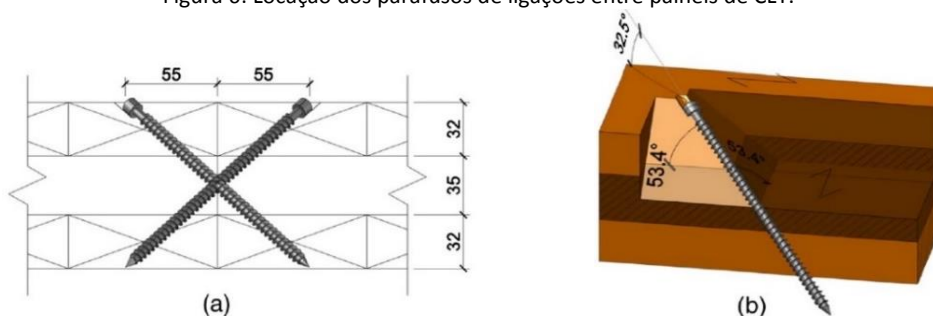
Figura 5: Conexões comumente utilizadas em CLT (a) e (b) e conexão testada (c).



Fonte: Hossain; Danzing; Tannert, 2016.

Os corpos de prova consistiram em três painéis de CLT com três camadas, 99mm de espessura, 500mm de largura e 1500mm de comprimento, com dois planos de cisalhamento. Os parafusos STS utilizados são especificados com 8mm de diâmetro e 180mm de comprimento e foram empregados como no esboço da figura 6 (a), na qual os espaçamentos entre os parafusos são determinados pela ETA-11/0190 (ETA 2013).

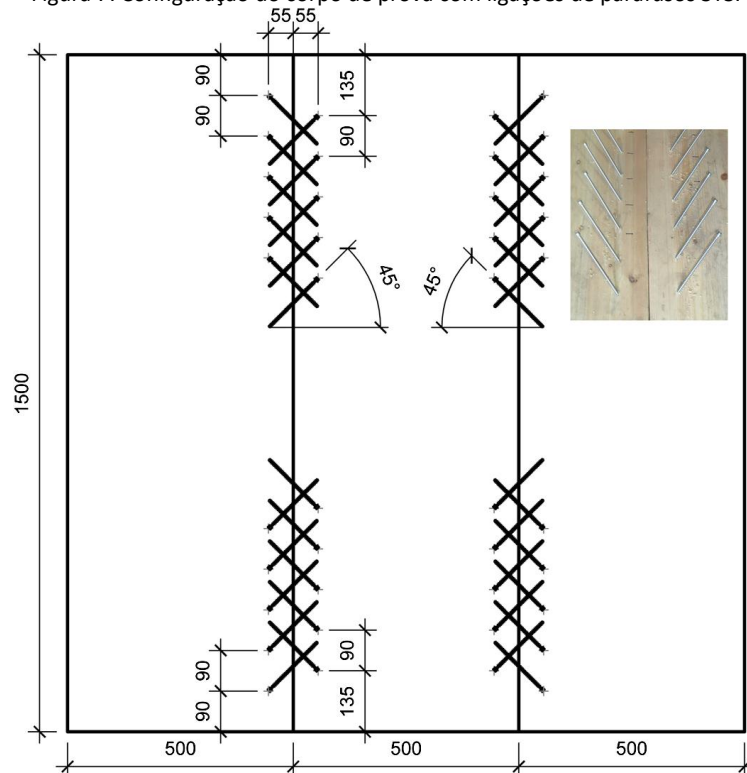
Figura 6: Locação dos parafusos de ligações entre painéis de CLT.



Fonte: Hossain; Danzing; Tannert, 2016.

Os STS foram instalados em um ângulo de 45° em relação ao plano de ligação entre os painéis CLT e mais um ângulo de 32,5° em relação à espessura dos painéis (Figura 6- b). A configuração final dos painéis com as ligações de parafusos é apresentada na figura 7, o espaçamento entre os dois grupos de parafusos é de 600mm.

Figura 7: Configuração do corpo de prova com ligações de parafusos STS.



Fonte: Hossain; Danzing; Tannert, 2016.

O protocolo experimental consistiu em sete testes estáticos e quatro testes cíclicos, com força aplicada por um atuador hidráulico. Os métodos para embasamento dos testes foram os estipulados pela ASTM E2126-11 (2013) [CUREE (Método C)] e a EN-26891 (1991).

Os resultados obtidos para os testes monotônicos/estáticos demonstraram que as ligações tiveram proporção média de ductilidade de 7,7, sendo classificada como altamente dúctil e ótima rigidez com 14,5mm de deslocamento máximo, enquanto que, para os testes cíclicos a média foi de 4,1 ou ductilidade moderada e ótima rigidez, com deslocamento máximo de 7,5mm (Hossain; Danzing; Tannert, 2016).

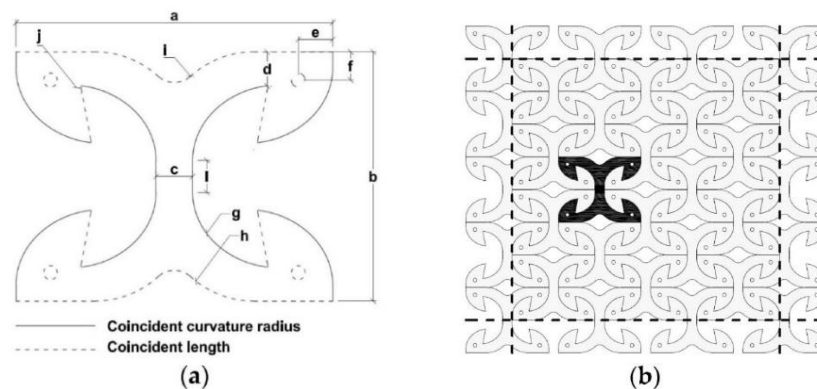
Na pesquisa de Scotta *et al.* (2016) uma conexão inovadora para o CLT foi desenvolvida. O conector, denominado suporte X, foi teorizado e idealizado por meio de análises paramétricas numéricas. Além disso, foi analisado seu comportamento cíclico com testes experimentais e comparado com os conectores tradicionais.

Ao projetar o suporte X, os autores tinham como finalidade: capacidade de deslocamento não inferior à das conexões tipicamente empregadas em CLT; alta classe de ductilidade segundo o Eurocode 8;

resistência comparável aos conectores tradicionais e otimização no processo de fabricação com mínimo descarte de material.

Na figura 8 (a) o suporte X é apresentado, com dimensões em milímetros: $a= 303.0$, $b= 233.0$, $c=35.0$, $d=32.0$, $e=33.0$ e $f=26.5$. Na figura 8 (b) é esboçada a parametrização para confecção de diversas peças em uma chapa de aço de classificação S275JR.

Figura 8: Esboço do conector Suporte X.



Fonte: Hossain; Danzing; Tannert, 2016.

Os resultados mostraram que a conexão proposta é caracterizada por uma alta rigidez inicial e adequado desempenho para tensões e cargas de cisalhamento. No entanto, o resultado mais valioso, segundo os autores, é o valor alto de ductilidade obtida.

3 MÉTODO DE PESQUISA

A revisão bibliográfica de acordo com Cervo e Bervian (1983, p. 55), “busca conhecer e analisar as contribuições culturais ou científicas do passado sobre determinado assunto, tema ou problema”, ou seja, auxilia na compreensão de um problema a partir de referências publicadas em documentos.

Os documentos adotados para referenciar a presente pesquisa foram os artigos publicados em periódicos especializados e revisados por pares, devido à temática do problema ser relativamente nova e os dados deste tipo de veículo serem confiáveis e de caráter científico. A seleção dos artigos foi feita com as seguintes entradas:

- Título - as palavras empregadas foram: *connection of cross laminated timber or joints cross laminated timber*;

- Data de publicação - foi selecionado o período compreendido pelos últimos 10 anos, com data inicial em 01/01/2007 e data final 31/12/2017 e;
- Refinamento - periódicos revisados por pares.

Como resultado obtiveram-se 893 artigos e destes foram destacados apenas quatro, de acordo com os autores de maior influência e pesquisa nesta área: Massimo Fragiacomio, Marjan Popovski, Johannes Schneider.

Já o estudo de Branco; Kekeliak e Lourenço (2015) foi selecionado por apresentar a ligação do painel CLT com uma placa de madeira maciça e mais especificamente, porque as ligações foram ensaiadas em ângulo. A pesquisa de Roberto Scotta, Luca Marchi, Davide Trutalli e Luca Pozza foi selecionada por se tratar de tentativa de desenvolvimento de um conector metálico inovador para o sistema CLT.

Na sequência é apresentada uma discussão a respeito dos tipos de ensaios e métodos utilizados pelos pesquisadores nos quatro artigos. Posteriormente, a descrição dos padrões e normas para realização de testes de ligações em painéis de CLT é analisada, visto que ainda não há parâmetros para efetuar estes testes específicos para o CLT. As pesquisas apresentadas adotam normas europeias, americanas e canadenses designadas para ligações em estruturas de madeiras de modo geral.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Popovski; Schneider e Schweinsteiger (2010) definiram as dimensões dos corpos de provas de acordo com a limitação do transporte dos painéis. O objetivo do estudo foi avaliar o desempenho do CLT sob ação de cargas laterais monotônicas e cíclicas (especificamente para esforços estruturais produzidos por abalos sísmicos) e os métodos foram embasados na norma americana ASTM E 2126 (2009).

Na pesquisa de Branco; Kekeliak e Lourenço (2015) não é especificada a justificativa para a definição das dimensões dos corpos de prova. O propósito da pesquisa foi analisar o comportamento das ligações entre uma placa maciça de madeira e painéis de CLT, conectados por diversos parafusos aplicados em ângulo de 90° e 45° em relação ao plano do painel. Os parâmetros de teste foram os da norma europeia EN 26891 (1991).

Hossain; Danzing e Tannert (2016) também não especificam a forma como definiram as dimensões dos corpos de prova. Os testes monotônicos e cíclicos foram realizados em corpos de prova com ligações

parafusadas com os elementos posicionados em ângulos de 45° em relação ao plano de cisalhamento. As normas utilizadas foram a americana ASTM E 2126-11 (2013) e a europeia EN 26891 (1991).

Para desenvolver o conector metálico, denominado suporte “X” Scotta *et al.* (2016), fizeram o uso dos parâmetros impostos no Eurocode 8, na seção destinada a ligações em estruturas sob ações sísmicas.

Fragiacomo, Dujic e Sustersic (2011) discutem em sua pesquisa o desempenho estrutural desejável em conexões entre painéis de CLT. O foco principal é o desempenho das ligações às ações sísmicas. Entre algumas colocações dos autores, encontra-se a crítica a respeito das duas normas europeias: Eurocode 8 – Projeto de estruturas para resistência a terremotos - e o Eurocode 5 – Projeto de estruturas de madeira.

Segundo os pesquisadores, as estruturas de CLT não são explicitamente mencionadas em nenhuma das duas normas devido à falta de diretrizes de projeto abrangentes. Algumas questões precisam de especial consideração ao projetar edifícios com o CLT sob ações sísmicas, como por exemplo, a avaliação da rigidez das conexões.

A norma americana ANSI/APA PRG 320 (2012), desenvolvida unicamente para o CLT, fornece requisitos e métodos de teste para qualificação e garantia de qualidade do desempenho do CLT, assim como as classes de desempenho do mesmo. Entretanto, nesta norma não consta nenhuma seção designada a testes e dimensões de corpos-de-prova para análise de desempenho das ligações entre painéis.

Nota-se, que as dimensões dos corpos-de-prova são definidas aleatoriamente, sem referência a nenhuma normativa ou até mesmo pela restrição de locomoção dos painéis. A análise dos resultados obtidos nos estudos apresentados são embasados e comparados com normas não designadas para estruturas de CLT, sendo assim, uma deficiência a ser reparada para aumentar o nível de confiabilidade dos estudos de ligações entre painéis de CLT.

De acordo com os resultados da entrevista realizada por Espinoza *et al.* (2016), a maior barreira para adoção do CLT como material de construção é a compatibilidade do código de construção e a disponibilidade de informações técnicas, e como necessidade de pesquisa mais prementes para o desenvolvimento do CLT, são o desempenho estrutural e das conexões e o desempenho face à variação de umidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS



PROJETAR
GRUPO DE PESQUISA EM
PROJETO DE ARQUITETURA
E PERCEPÇÃO DO
AMBIENTE



O CLT é um sistema construtivo que apresenta potencial para difusão e adoção em projetos, da pequena a grande escala. Uma das principais qualidades para adoção do CLT é a utilização de madeira de floresta plantada para confecção dos painéis, visto que, a sustentabilidade é uma das palavras-chave em todos os campos e em nível mundial.

Entretanto, mesmo após aproximadamente 27 anos do surgimento do CLT, ainda existem diversas questões e necessidades de pesquisa sobre o sistema a serem investigadas para que a disseminação e seu emprego ganhem o “público”.

Entre algumas questões, podem-se destacar os parâmetros ou normas para avaliação estrutural, tais como as ligações. Nos estudos apresentados nesta pesquisa, para desenvolver a análise de ligações entre os painéis, os pesquisadores recorreram às normas e códigos relacionados a estruturas de madeira que não abrangem o CLT.

Sendo assim, para que o CLT conquiste espaço no mercado da construção civil é indispensável à normalização ou padronização do produto, bem como a normatização ou estabelecimento de normas. Há uma carência no que diz respeito aos ensaios de ligações neste produto, desde a definição de dimensões de corpos-de-prova aos parâmetros para avaliação dos resultados dos testes.

Cabe ressaltar que os estudos sobre as ligações em CLT são amplos e nos últimos dez anos têm sido foco de diversos pesquisadores. Contudo, para a presente pesquisa, foi analisada apenas uma parcela destes trabalhos, como forma de expor a deficiência no que diz respeito aos parâmetros utilizados para ensaios mecânicos das ligações entre painéis de CLT.

6 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecimentos especiais também a Fundação Araucária pelo apoio.

7 REFERÊNCIAS

APA – THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. STANDARD FOR PERFORMANCE – Rated Cross-Laminated Timber, ANSI/APA PRG 320. Tacoma, Washington, USA. 2011.

ASTM. (2009). “Standard test methods for cyclic (reversed) load test for shear resistance of vertical elements of the lateral force resisting systems for buildings.” ASTM E2126-11, West Conshohocken, PA.



PROJETAR
GRUPO DE PESQUISA EM
PROJETO DE ARQUITETURA
E PERCEPÇÃO DO
AMBIENTE



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE



ARQUITETURA E URBANISMO - UFPR



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
PLANEJAMENTO URBANO



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ



UNIVERSIDADE
POSITIVO

ARQUITETURA E CIDADE: PRIVILÉGIOS, CONFLITOS E POSSIBILIDADES

Curitiba, de 22 a 25 de outubro de 2019



BRANCO, J. M.; KEKELIAK, M.; LOURENÇO, P. B. In-plane stiffness of timber floors strengthened with CLT. Eur. J. Wood Prod. 73: 313-323. 2015.

BRANDNER, R. Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): a state-of-the-art report. In: Harris R, Ringhofer A, Schickhofer G (eds) Focus solid timber solutions—European conference on cross laminated timber (CLT). The University of Bath. 2013.

CEN (European Committee for Standardization). (1991). “Timber structures, joints made with mechanical fasteners, general principles for the determination of strength and deformation characteristics.” EN-26891, Brussels, Belgium.

CERVO, Amado L. e BERVIAN, Pedro A. (1983) Metodologia Científica: para uso dos estudantes universitários. 3.ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.

EN 338:2003 Structural timber—strength classes. European Committee for Standardization, Brussels.

ESPINOZA, O.; TRUJILLO, V. R.; MALLO, M. F. L.; BUEHLMANN, U. Cross-laminated timber: status and research needs in Europe. Bioresources.com 11 (1), 281-295. 2016.

ETA (European Technical Approval). (2013). “European technical approval: Würth self-tapping screws.” ETA-11/0190, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.

European Committee for Standardization, EN 1995-1-1. Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, Brussels, 2004.

European Committee for Standardization (CEN). Eurocode 8—design of structures for earthquake resistance, part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. 2004.

FRAGIACOMO, M.; DUJIC, B.; SUSTERSIC, I. Elastic and ductile design of multi-storey crosslam massive wooden buildings under seismic actions. Engineering Structures 33. Pg. 3043-3053. 2011.

HOSSAIN, A.; DANZIG, I.; TANNERT, T. Cross-Laminated Timber Shear Connections with Double-Angled Self-Tapping Screw Assemblies. Journal Sstructure Eng. 2016, 142 (11).

MOHAMMAD, M.; GAGNON, M.; BRADFORD K. D.; PODESTO, L. Introduction to cross laminated timber. Wood Design Focus, 2012.

POPOVSKI, M.; SCHNEIDER, J.; SCHWEINSTEIGER, M. Lateral load resistance of cross-laminated wood panels. World Conference on timber engineering – WCTE. 2010.

SCOTTA, R.; MARCHI, L.; TRUTALLI, D.; POZZA, L. A dissipative connector for CLT buildings: Concept, Design and Testing. Materials, 9, 139. 2016.

