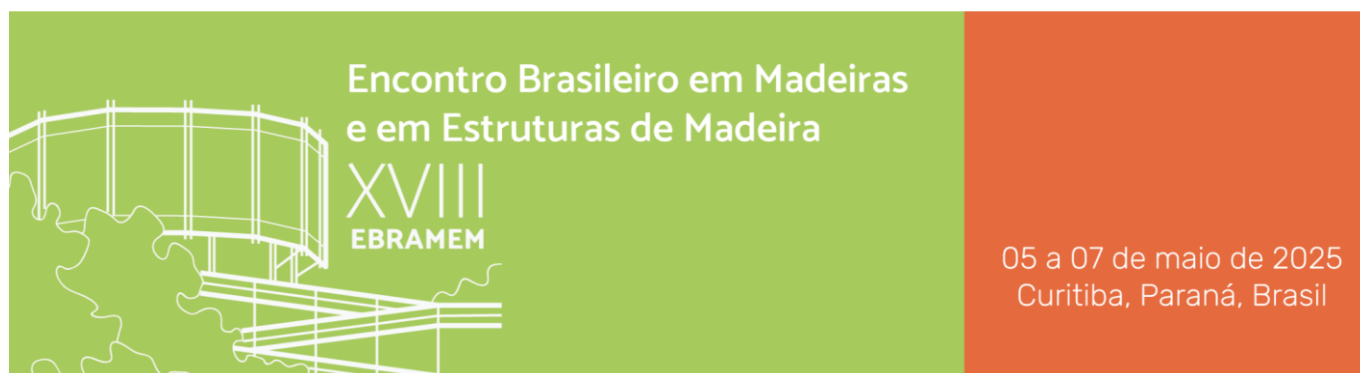




LIGAÇÕES DE MICROENTALHES E CHAPA EXPANDIDA EM PAINÉIS COMPOSTOS DE CROSS LAMINATED TIMBER E CONCRETO SUBMETIDOS A ENSAIO DE CISALHAMENTO

Gustavo Violin^{1*}, Cassiano Barros²; Nilson Mascia³; Ramon Vilela⁴

*Autor de contato: g.rosaviolin@gmail.com

¹ Departamento de Estruturas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil

² Departamento de Estruturas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil

³ Departamento de Estruturas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil

⁴ Departamento de Estruturas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil

RESUMO

O uso da madeira como material estrutural tem se tornado um tema de crescente interesse, principalmente devido à sua natureza sustentável. Nesse contexto, os produtos engenheirados de madeira têm ganhado destaque no setor da construção civil, ampliando as possibilidades construtivas. Entre esses produtos, o CLT (Cross-Laminated Timber) se sobressai, sendo composto por lamelas de madeira dispostas ortogonalmente entre si em relação ao sentido das fibras e unidas com adesivo estrutural para formar painéis robustos. Com o avanço das pesquisas e da tecnologia nesse campo, uma área em destaque envolve a combinação de CLT com concreto para criar um composto estrutural híbrido. O presente estudo tem como objetivo investigar o comportamento e a rigidez de duas configurações de ligações entre esses materiais, analisando a eficácia das conexões por microentalhes com e sem a adição de chapas expandidas. A investigação foi conduzida por meio de ensaios experimentais de cisalhamento, e faz parte de uma pesquisa mais ampla sobre elementos compostos de CLT-concreto, que também busca compreender o comportamento dessas ligações em situações de flexão.

Palavras-chave: análise experimental; madeira engenheirada; rigidez ao cisalhamento; microentalhes.

ABSTRACT

The use of timber as a structural material has become an increasingly relevant topic, primarily due to its sustainable nature. In this context, engineered timber have gained prominence in the construction industry, expanding the range of construction possibilities. Among these products, CLT (Cross-Laminated Timber) stands out, being composed of layers of wood lamellas arranged orthogonally to the grain direction and bonded with structural adhesives to form robust panels. With the advancement of research and technology in this field, one area of focus involves combining CLT with concrete to create a hybrid structural composite. This study aims to investigate the behavior and stiffness of two connection configurations between these materials, analyzing the effectiveness of micro-notch connections with and without the addition of expanded metal plates. The investigation was conducted through experimental shear tests as part of a broader research project on CLT-concrete composite elements, which also seeks to understand the behavior of these connections in bending situations.

Keywords: experimental analysis; engineered timber; shear stiffness; micro-notches.

1. INTRODUÇÃO

A discussão acerca de sustentabilidade tem sido bastante premente no campo da construção civil. Segundo Ustev (2022), apesar desse setor ter um impacto grande no Produto Mundial Bruto, tal campo é responsável por 36% do uso mundial de energia e por 39% das emissões mundiais de CO₂, um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa. Além disso, a construção civil também é responsável por gerar entre 45% e 65% dos resíduos depositados em aterro (Lima, 2021). Frente a esse cenário, urge a busca por soluções mais sustentáveis em toda a cadeia da construção civil de forma a atenuar esses impactos, sendo um recorte bastante relevante os materiais envolvidos na obra.

Nesse sentido, a utilização da madeira como estrutura tem ganhado bastante destaque, uma vez que tal material tem se mostrado uma alternativa com menor impacto ambiental quando comparada com os materiais estruturais comumente utilizados na construção civil, o concreto e o aço. Além disso, o uso da madeira está fortemente ligado à discussão sobre construções sustentáveis, uma vez que ela desempenha um papel crucial no ciclo do carbono, por meio da absorção e liberação de CO₂. Aproximadamente 50% da massa da madeira é composta de carbono, fixado no material orgânico durante o processo de fotossíntese, que ocorre através da absorção de CO₂ da atmosfera e da ação da energia solar.

Nesse cenário, é de suma importância compreender o papel dos produtos engenheirados de madeira que tem sido responsáveis por ampliar as possibilidades de usos do material de forma a atender as demandas modernas da construção civil e da arquitetura contemporânea. Além do processo de industrialização da madeira possibilitar a criação de produtos mais homogêneos, ao adicionar um grau de pré-fabricação ao material, agregam-se características cada vez mais essências à construção moderna como a agilidade e a precisão.

Nesse grupo, um dos produtos de maior destaque é o CLT (*Cross Laminated Timber*), que se caracteriza pela disposição ortogonal de lamelas de madeira coladas entre si, resultando em placas ou chapas. Essa configuração proporciona uma ação bidirecional, tornando o CLT amplamente utilizado em estruturas de paredes e pisos (Destefano, 2020). Além disso, a alternância das direções das lamelas reduz os efeitos da temperatura e da umidade no plano do painel, minimizando a ocorrência de rachaduras e empenamentos, o que confere maior estabilidade ao produto em comparação com a madeira serrada (Jeska, 2015). O crescente uso desse produto tem ensejado um maior número de pesquisas e de desenvolvimento para implementar a sua performance, com destaque para a combinação de CLT com uma camada de concreto.

Placas mistas de madeira e concreto foram desenvolvidas na década de 1920 para reduzir a quantidade de concreto e aço utilizadas em pisos. Desde a década de 1990, esse composto voltou a ser amplamente utilizado em novas construções, tornando-se os componentes híbridos mais frequentes na construção em madeira (Kaufmann, 2022). Comparados a estruturas compostas apenas de madeira, essas placas melhoram o desempenho estrutural, o isolamento acústico e as características de segurança contra incêndios, além de reduzirem vibrações indesejadas. Nesse arranjo, ambos os materiais atuam de maneira complementar, com cada um posicionado na região onde apresenta melhor desempenho (Dias, 2018).

Esse trabalho tem o objetivo de investigar os efeitos localizados de duas configurações recentemente desenvolvidas de ligação entre o CLT e a camada de concreto, analisando a influência de cada composição nos valores de rigidez, deslocamento e ductilidade. Assim, objetiva-se contribuir para o estudo de placas compostas de CLT e concreto, além de auxiliar a comunidade científica e os profissionais da área.

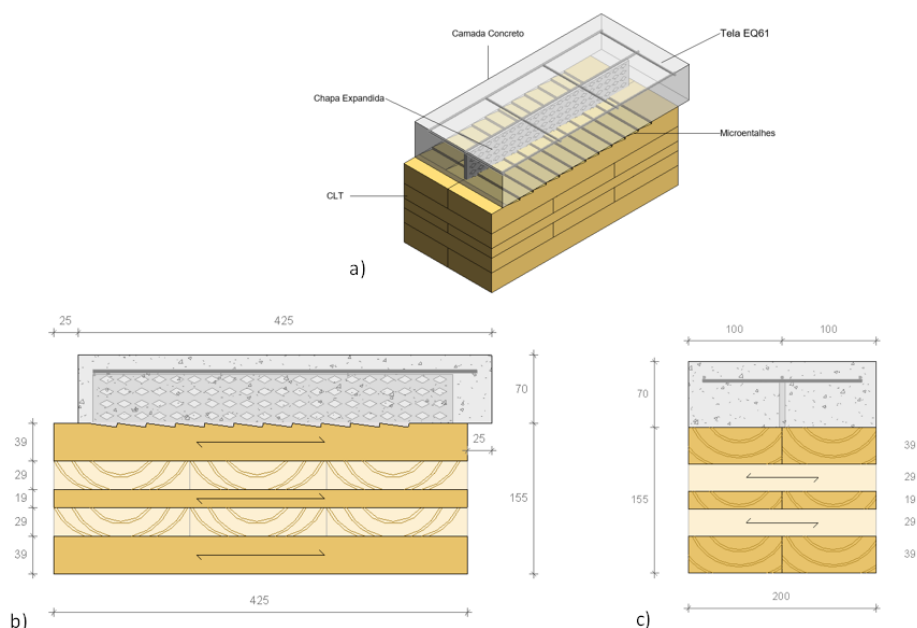
2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a obtenção dos valores da carga máxima de ruptura, deslocamento máximo e módulo de deslizamento de cada corpo de prova, foi realizado um procedimento experimental utilizando o equipamento desenvolvido por Santos (2021) e por Vilela (2024). Tal procedimento faz parte de um subconjunto de ensaios que foram executados a fim de se realizar a caracterização dos produtos que compõem placas compostas de CLT-Concreto ao longo da pesquisa.

2.1 Materiais

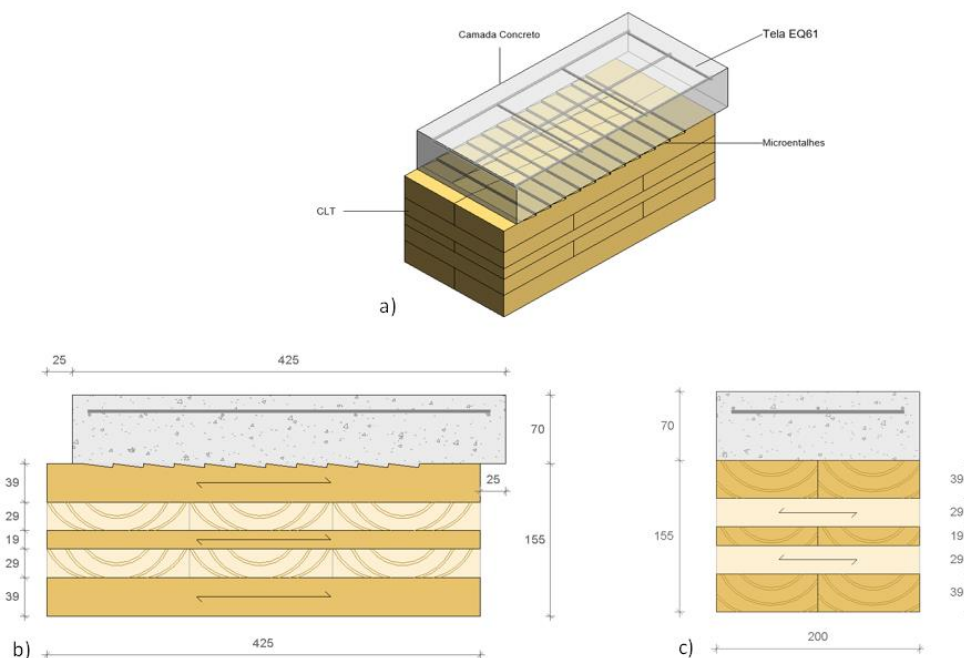
Foram ensaiados vinte corpos de prova compostos por CLT, fabricados com madeira da espécie *Pinus taeda* (classe de resistência C24), e por uma camada de concreto de classe C30 com brita A0 e abatimento de 11 mm. O CLT possui 425 mm de comprimento, 200 mm de largura e 155 mm de altura, com disposição de lamelas em cinco camadas. Já o concreto possui 425 mm de comprimento, 200 mm de largura e 70 mm de altura e está disposto com uma defasagem de 25 mm no alinhamento longitudinal com relação ao CLT para garantir o correto funcionamento do ensaio. Para combater a retração, a camada de concreto também recebeu uma tela metálica EQ61, composta por uma malha de aço com barras de diâmetro igual a 3,4 mm, um espaçamento de 150 mm entre os tramos e com um cobrimento de 15 mm da face externa.

Figura 1: Disposição geral e dimensões dos corpos de prova do grupo A (dimensões em milímetros)



Fonte: os autores.

Figura 2: Disposição geral e dimensões dos corpos de prova do grupo B (dimensões em milímetros)



Fonte: os autores.

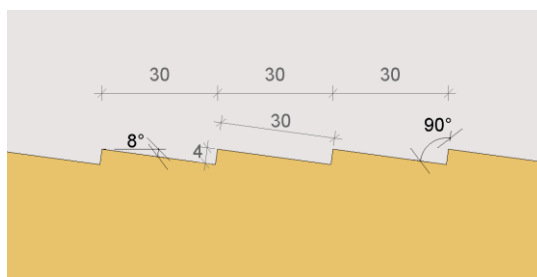
A ligação entre os materiais se deu em duas configurações distintas: metade dos corpos de prova foram ligados apenas por microentalhes usinados no CLT (grupo B) e a outra metade foram ligados por uma combinação de microentalhes e chapa expandida (grupo A). A chapa expandida consiste em uma chapa metálica perfurada que possui 90 mm de altura e que foi fixada longitudinalmente no CLT, a uma profundidade de 40 mm. Já os microentalhes são conexões que foram inicialmente propostas por Muller (2020), formados por usinagens de pequenas dimensões no CLT (30 mm x 4 mm) em formato de dente de serra localizados na interface da madeira com o concreto (Figura 3). Tal usinagem constitui uma forma nova de se fazer esse tipo de ligação, devendo ainda receber escrutínio da comunidade científica para melhor compreender o comportamento dessa configuração e todos os efeitos envolvidos. Vale frisar que tais usinagens devem seguir uma direção específica, a depender do sentido do esforço de cisalhamento entre as camadas de forma a impedir o deslizamento na interface dos materiais. Tais especificações podem ser mais bem compreendidas nas figuras 1 e 2.

Tabela 01 – Tipos de corpos de prova ensaiados

Grupo	Conexão entre os materiais	Quantidade
A	Microentalhes + Chapa Expandida	10
B	Microentalhes	10

Fonte: os autores.

Figura 3: Disposição geral da ligação de microentalhes (dimensões em milímetros)

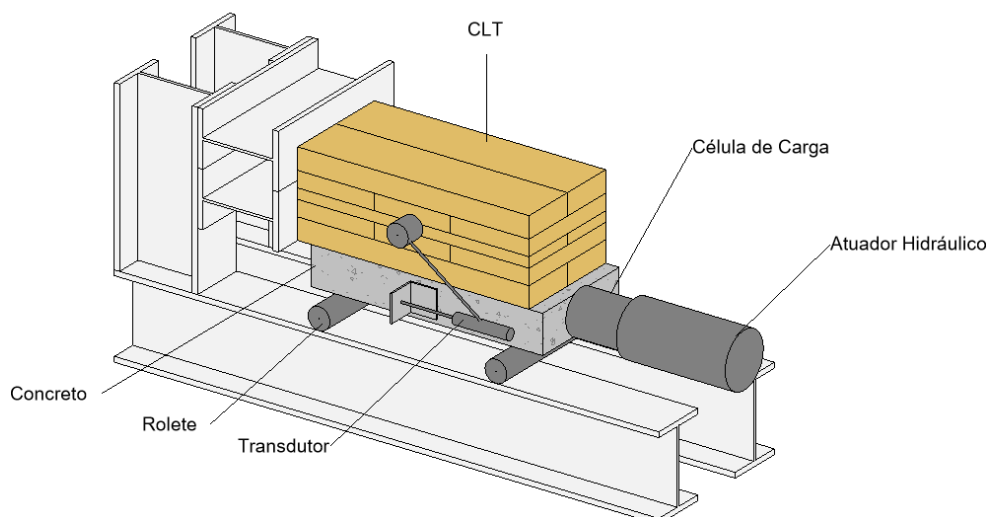


Fonte: os autores.

2.2 Métodos

Para a realização do experimento, o corpo de prova foi posicionado sobre um par de roletes que por sua vez se apoiavam sob o equipamento de ensaio, de maneira que a camada de concreto ficasse voltada para o lado de baixo do aparato. Esses roletes têm a função de impedir o movimento vertical devido ao giro gerado pela excentricidade da aplicação da carga, ao mesmo tempo em que permite o deslocamento horizontal diferencial da peça que ocorre ao longo do ensaio. Em seguida, a peça foi posicionada de forma que apenas a camada de CLT ficasse apoiada no anteparo metálico do equipamento. Na face oposta da peça, foi posicionado um atuador hidráulico para a aplicação de uma carga na camada de concreto, junto com uma célula de carga para a leitura dos valores. Essa configuração se dá de tal maneira que a aplicação da carga pelo atuador no concreto e o apoio do CLT na estrutura de aço faz com que a carga necessariamente mobilize a ligação no sentido longitudinal da peça, de forma a produzir o efeito de cisalhamento desejado na interface entre os materiais. Para a medição dos valores de deslocamento diferencial entre os materiais, foram utilizados dois transdutores que foram fixados nas laterais dos corpos de prova. O esquema geral do ensaio está indicado pela Figura 4.

Figura 4: Disposição geral do ensaio de cisalhamento

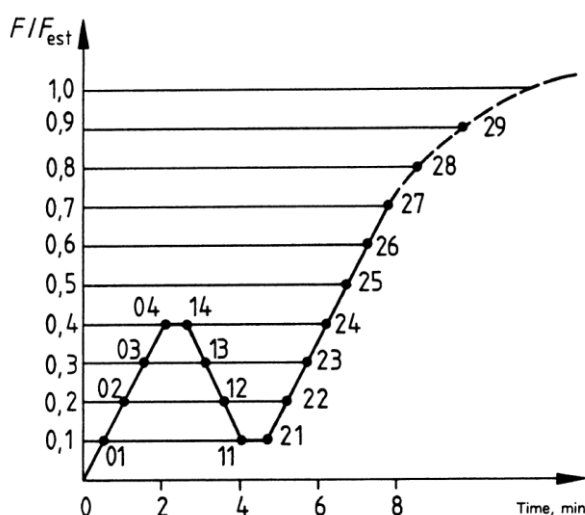


Fonte: os autores.

Para a metodologia do ensaio, foi utilizada a norma BS EN 26891 (1991) para a obtenção do deslizamento em peças formadas por conectores mecânicos. Vale ressaltar que, apesar da nova versão da ABNT NBR7190-5 (2022) trazer diretrizes para esse tipo de ensaio, optou-se por seguir a norma europeia para que fosse possível a comparação dos resultados com pesquisas precedentes que ocorreram no laboratório da FECFAU que também a adotaram.

Essa norma também orienta sobre o esquema de carregamento da peça, recomendado que em um primeiro ciclo de carregamento, a peça receba uma carga gradual até o limite equivalente de 40% da sua carga de ruptura, com tal valor sendo mantido durante 30 segundos. Em seguida, a carga deve ser gradualmente aliviada para um valor de 10% da sua carga de ruptura, sendo mantido por mais 30 segundos. Por último, deve-se fazer, novamente, o incremento gradual da carga até o limite de ruptura da peça ou de até que o deslocamento horizontal atinja o valor de 15 mm. Tal esquema é indicado pela Figura 5.

Figura 5: procedimento de aplicação de carga no corpo de prova



Fonte: British standards institution (1991)

Vale frisar que o parâmetro da carga máxima utilizada para calcular tais patamares foi obtido através do ensaio preliminar de um corpo de prova de cada grupo. Após o término dos ensaios foi observado que os valores obtidos por tais ensaios preliminares se encontravam dentro do desvio padrão da média, o que por sua vez serviu para validar os valores adotados nos patamares dos ensaios.

Tal norma também indica o procedimento de cálculo para a obtenção do valor do módulo de deslizamento, cujas expressões estão indicadas nas Equações 1 a 8.

$$v_i = v_{04} \quad (1)$$

$$v_{i,mod} = \frac{4}{3}(v_{04} - v_{01}) \quad (2)$$

$$v_s = v_i - v_{i,mod} \quad (3)$$

$$v_e = \frac{2}{3}(v_{14} + v_{24} - v_{11} - v_{21}) \quad (4)$$

$$k_i = \frac{0,4 F_{est}}{v_i} \quad (5)$$

$$k_s = \frac{0,4 F_{est}}{v_{i,mod}} \quad (6)$$

$$v_{26,mod} = v_{26} - v_{24} + v_{i,mod} \quad (7)$$

$$v_{28,mod} = v_{28} - v_{24} + v_{i,mod} \quad (8)$$

Onde:

v_i = deslizamento inicial (mm);

$v_{i,mod}$ = deslizamento inicial modificado (mm);

v_s = acomodação da ligação (mm);

v_e = deslizamento elástico (mm);

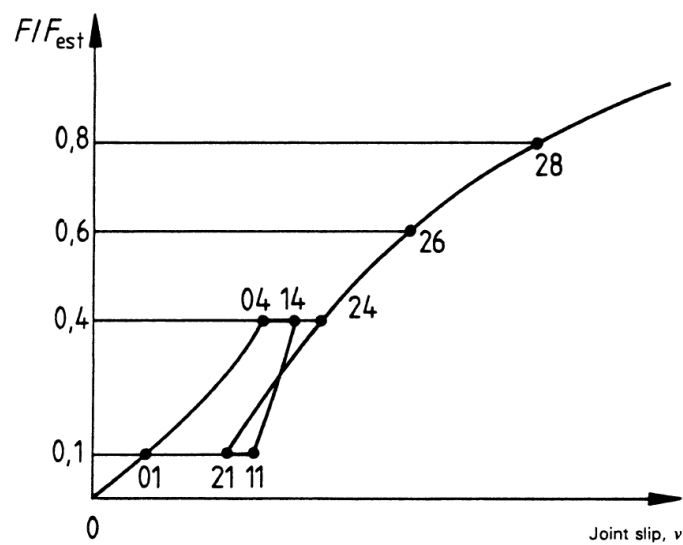
k_i = módulo de deslizamento inicial (mm);

k_s = módulo de deslizamento (mm);

F_{est} = força máxima estimada (kN);

v_j = deslocamento dos pontos j, referenciados no gráfico da Figura 6 (mm);

Figura 6: Curva esperada de comportamento do ensaio com indicações de pontos de medição



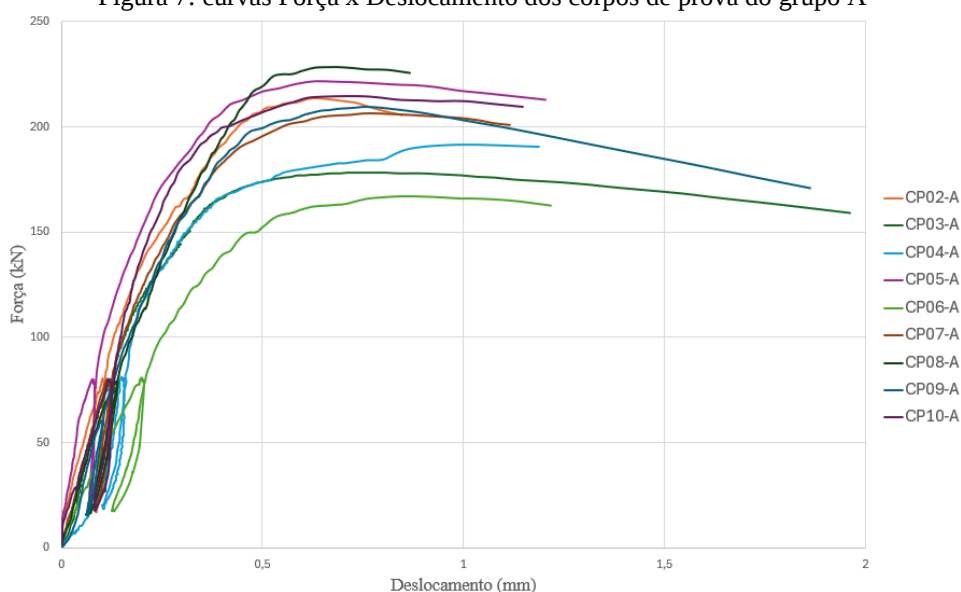
Fonte: British standards institution (1991)

Vale frisar que para a obtenção de tal valor, foi necessário a coleta de dados nos pontos especificados pela figura 06 de forma que os valores dos deslocamentos naqueles pontos pudessem ser utilizados nas expressões da norma.

3. RESULTADOS

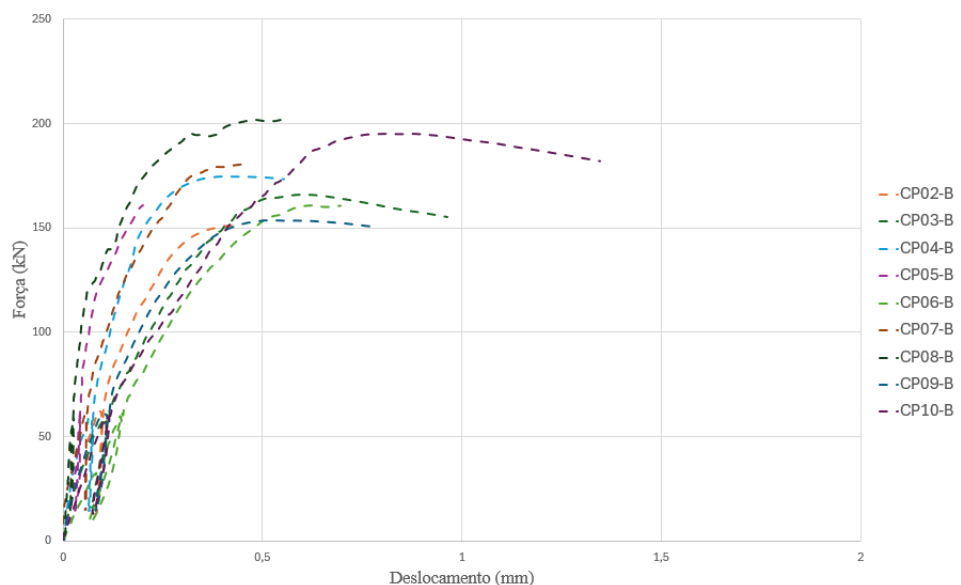
Após a realização dos ensaios, os resultados obtidos foram organizados e foram gerados os gráficos das Figuras 7 e 8, que permitem a melhor visualização do comportamento dos corpos de prova dentro de cada grupo.

Figura 7: curvas Força x Deslocamento dos corpos de prova do grupo A



Fonte: os autores.

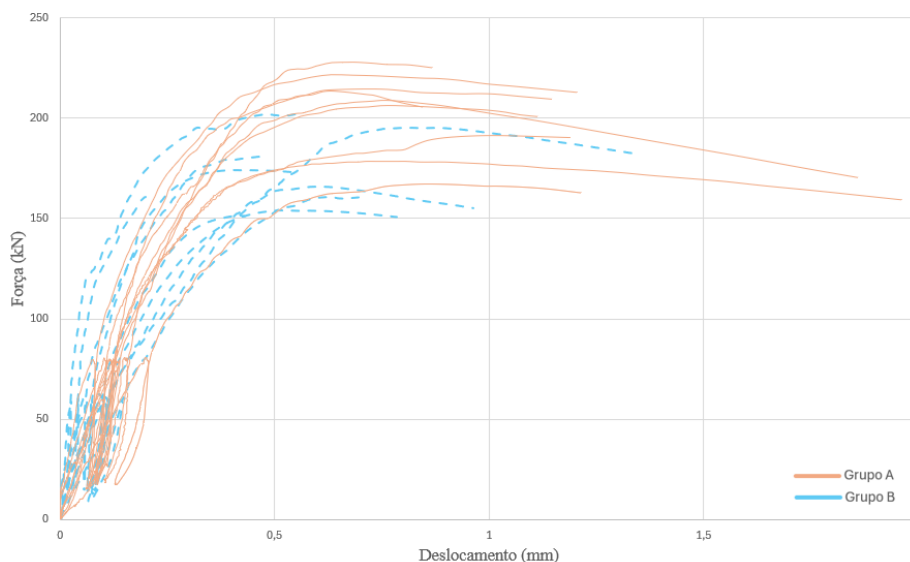
Figura 8: curvas Força x Deslocamento dos corpos de prova do grupo B



Fonte: os autores.

Além disso, a Figura 9 permite observar a sobreposição dos resultados apresentados acima com destaque para as diferenças gerais entre os grupos.

Figura 9: curvas Força x Deslocamento dos corpos de prova do grupo A e do grupo B



Fonte: os autores.

Pela análise das curvas, é possível aferir que a Série A teve valores superiores para a carga máxima de ruptura quando comparados aos corpos de prova da Série B. Além disso, foi observado que o comportamento dos corpos de prova das duas séries foi similar, podendo ser identificado inicialmente um trecho linear ascendente seguido por um trecho curvo descendente.

Outro aspecto que pode ser observado nesse comparativo entre os grupos é com relação ao deslocamento maior na média dos grupos da série A após atingida a carga máxima, com relação aos grupos da série B. Esse fator indica uma tendência de ruptura dúctil no caso da série A, causado pela presença da chapa expandida que, ao atingir a tensão de escoamento do aço, causou deformações plásticas na interface entre a madeira e o concreto. Tais observações podem ser também observadas na Tabela 02.

Para analisar os dados tabelados, foi empregado o teste *Shapiro-Wilk* para verificar a relação de normalidade para a definição da aplicação da análise estatística que seria utilizada para interpretar os resultados de cada parâmetro. Essa verificação permitiu concluir que apenas a distribuição dos dados do parâmetro da força máxima seguia uma relação de normalidade, enquanto o deslocamento máximo e o módulo de deslizamento não apresentavam tal característica.

Dessa maneira, foi realizado um teste *t de Student* pareado para os valores da força máxima que indicou um valor P de 0,001, inferior ao nível de significância de 0,05. Portanto, a hipótese nula pode ser rejeitada, indicando que os valores dos resultados se diferem estatisticamente entre os grupos. No caso dos parâmetros restantes, os quais não seguiram uma distribuição normal, foi realizada uma análise não paramétrica pelo teste de *Mann-Whitney*. Para o deslocamento máximo, ao ser aplicado tal teste com um nível de significância de 0,05 foi observado um valor

P de 0,004, indicando novamente a rejeição da hipótese nula e, portanto, podendo-se concluir que tal parâmetro se difere estatisticamente entre os grupos. Já no que diz respeito ao módulo de deslizamento, o teste de *Mann-Whitney* indicou um valor P de 0,931, sugerindo que a hipótese nula não pode ser rejeitada e que, portanto, não houve diferença estatística significativa entre os grupos.

Tabela 02 – Força máxima ($P_{m\acute{a}x}$), deslizamento máximo ($v_{m\acute{a}x}$) e módulo de deslizamento (k_s) das séries A e B

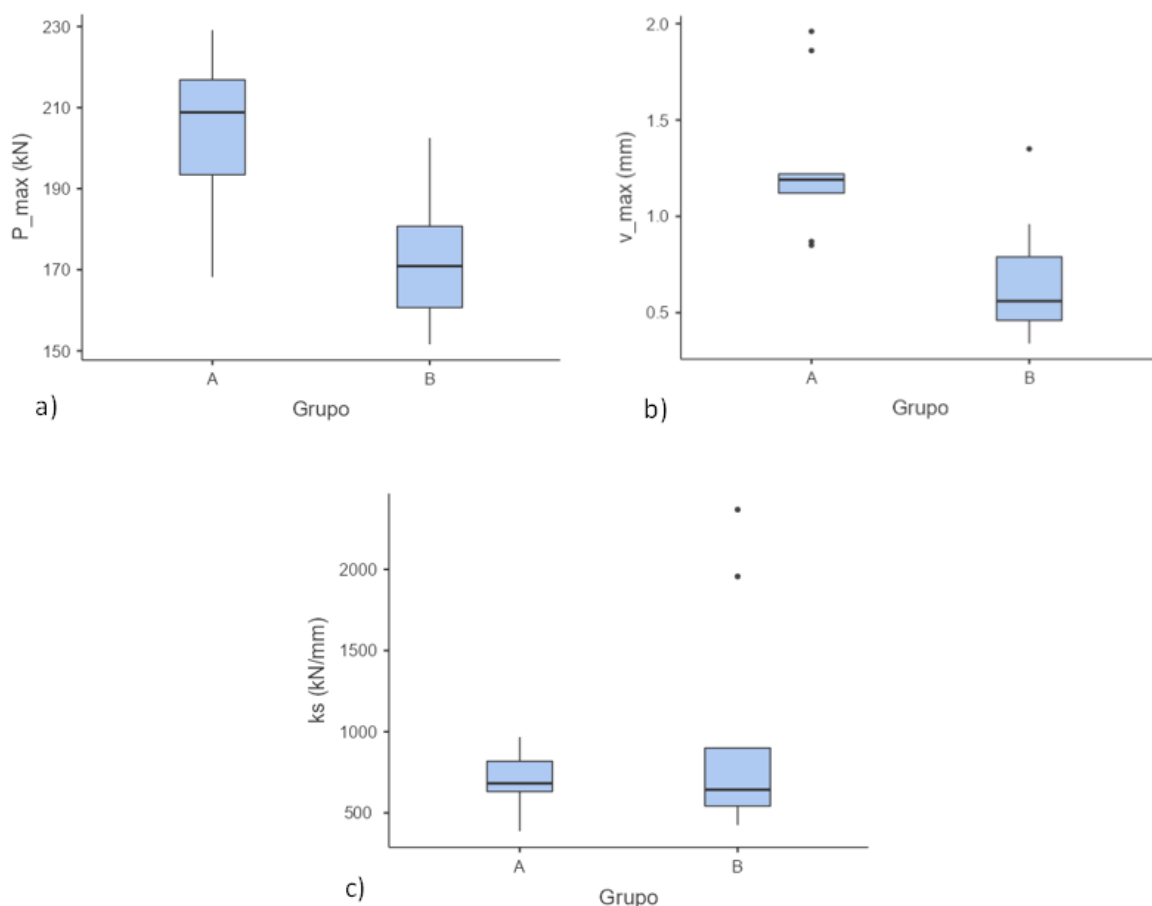
Corpo de Prova	Grupo A			Grupo B		
	$P_{m\acute{a}x}$ (kN)	$v_{m\acute{a}x}$ (mm)	k_s (kN/mm)	$P_{m\acute{a}x}$ (kN)	$v_{m\acute{a}x}$ (mm)	k_s (kN/mm)
01	199,8	-	-	180,2	-	-
02	215,8	0,85	674,2	151,6	0,43	642,9
03	178,4	1,96	722,9	167,2	0,96	542,2
04	191,3	1,19	833,3	174,6	0,55	803,6
05	224	1,2	967,7	160,9	0,34	1956,5
06	168,2	1,22	387,1	160,6	0,7	424,5
07	208,1	1,12	681,8	180,9	0,46	900
08	229,1	0,87	606,1	202,5	0,56	2368,4
09	209,5	1,86	818,2	154,5	0,79	576,9
10	217,2	1,15	631,6	195,4	1,35	529,4
Média	204,1	1,27	702,5	172,8	0,68	971,6
Mediana	208,8	1,19	681,8	170,9	0,56	642,9
Desv. Padrão	19,7	0,39	164,4	17,1	0,31	698
Coef. De Variação	9,7	30,8	23,4	9,9	46,2	71,8

Fonte: os autores.

Para a melhor compreensão desses parâmetros estatísticos, foram elaborados gráficos de *box plot*, indicados na Figura 10.

Ao observar os gráficos de *box plot*, é possível perceber a diferença entre as medianas de cada parâmetro entre os grupos, corroborando os resultados dos testes estatísticos, uma vez que as medianas apresentam maior discrepância no caso do $P_{m\acute{a}x}$ e do $v_{m\acute{a}x}$, enquanto o gráfico do k_s apresenta tal índice bem mais próximo. Com relação à dispersão e à variabilidade dos dados, pela análise das figuras pode-se aferir que a amplitude do intervalo interquartil (IQR) apresentou uma discrepância maior entre os grupos no caso do deslocamento máximo, sugerindo que os valores do grupo B apresentam maior variabilidade nos resultados que o grupo A.

Figura 10: gráficos de *box plot* para os valores de $P_{m\acute{a}x}$ (a), $v_{m\acute{a}x}$ (b) e k_s (c)



Fonte: os autores.

Outro fator que chama a atenção são os outliers que estão evidenciados nas figuras. No caso do gráfico de deslocamento máximo, o grupo A apresenta 4 situações de outliers, valor relativamente grande considerando o tamanho do espaço amostral estudado. Considerando que o efeito de escoamento da chapa ocorre concomitantemente à falha dos microentalhes, é razoável supor que os valores de deslocamento dos outliers superiores (CP03-A e CP09-A) se deve a um patamar de escoamento do aço mais prolongado o que faz com que o deslocamento continue ocorrendo por mais tempo na ligação, após atingida a carga máxima. Por outro lado, os dois outliers que se encontram na parte de baixo (CP02-A e CP08-A) indicam que a chapa expandida teve um patamar plástico mais curto e, portanto, teve um rompimento precoce, se aproximando da situação do grupo B.

No que diz respeito aos modos de falha dos corpos de prova, de forma geral foi observado o cisalhamento na madeira, cisalhamento na chapa expandida e cisalhamento no concreto. No caso do grupo A, o cisalhamento na madeira em conjunto com o cisalhamento das chapas expandidas foi preponderante, apesar de ter sido observado cisalhamento no concreto também, porém com menor frequência. Já no caso do grupo B, o cisalhamento na madeira prevaleceu, com ocasional cisalhamento no concreto, também com menor frequência. Tais cenários podem ser observados nas Figuras 11 e 12.

Figura 11: Modos de falha em corpo de prova do grupo A no CLT (a) e no concreto (b)



Fonte: os autores.

Figura 12: Modos de falha em corpo de prova do grupo B no CLT (a) e no concreto (b)



Fonte: os autores.

Vale frisar também que foi observado em alguns corpos de prova o uso excessivo de adesivo estrutural no processo de fixação das chapas expandidas no CLT do grupo A, de forma que houve o extravasamento do produto na região das proximidades com a chapa expandida, sobre os microentalhes, conforme indicado na imagem da Figura 11. Essa observação é relevante na medida em que a conexão dos microentalhes depende exclusivamente da aderência e conformação do concreto aos microentalhes da madeira. Com as dimensões reduzidas dos corpos de prova do ensaio, a proporção entre a área de microentalhes comprometida pelo adesivo e a largura da peça não pode ser desprezada e, portanto, é possível que tal ocorrência possa ter gerado pequenas alterações nos resultados. Cabe também a observação de que, em

escala real, tal interferência provavelmente seria minimizada uma vez que as dimensões de largura são muito superiores à dos corpos de prova ensaiados nesse estudo.

4. CONCLUSÕES

Com base nos dados apresentados neste trabalho, foi possível verificar de forma localizada a viabilidade e resistência da conexão de microentalhes entre concreto e CLT como uma forma efetiva de ligação.

Também foi possível aferir na comparação entre os grupos, que a adição de chapa expandida aumentou significativamente os valores de carga máxima de ruptura, apesar de também ter sido observado que ela não necessariamente contribui para um aumento de rigidez da ligação. Nessa comparação também foi observado que o comportamento geral do ensaio entre os grupos seguiu um padrão para ambos os casos cabendo a observação que as curvas mais alongadas do Grupo A indicaram que chapa expandida aumenta a ductibilidade na ruptura.

Esse fato indica uma maior segurança na ligação, sugerindo que tal combinação é mais interessante na aplicação prática quando comparada ao uso apenas dos microentalhes.

Por último, cabe também ressaltar a uso excessivo de adesivo estrutural observado em alguns corpos de prova do grupo A que indicam também a necessidade de um maior controle na produção dessa configuração para garantir melhor desempenho da ligação.

Em última análise, este estudo proporcionou um melhor entendimento do comportamento mecânico deste tipo de composto, destacando a significativa contribuição do concreto quando utilizado em conjunto com placas de CLT.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial à empresa Crosslam, pelo fornecimento dos corpos de prova, e aos técnicos laboratoristas do laboratório de estruturas da Universidade Estadual de Campinas, pela grande ajuda na condução dos experimentos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190-5: **Projeto de estruturas de madeira - Parte 5: Métodos de ensaio para determinação da resistência e da rigidez de ligações com conectores mecânicos**. Rio de Janeiro, 2022.

BARROS, C. **Estruturas em placas de cross laminated timber e concreto conectadas por microentalhes sob momento negativo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2024.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 26891:1991 — Timber structures — Joints made with mechanical fasteners — General principles for the determination of strength and deformation characteristics.** London, 1991.

DESTEFANO, J. **Timber Structures: Tales of Engineering, Architecture and Carpentry.** Fairfield: DeStefano & Chamberlain, 2020.

DIAS, A.; SCHÄNZLIN, J.; DIETSCH, P. **Design of timber-concrete composite structures.** Aachen: Shaker Verlag Aachen, 2018.

JESKA, S.; PASCHA, K. **Emergent Timber Technologies: materials structures engineering projects.** Basel: Birkhauser, 2015.

KAUFMANN, H.; KROTSCH, S.; WINTER, S. **Manual of Multistorey Timber Construction: Principles – Constructions – Examples.** Munique: Detail, 2022.

LIMA, L. et al. **Sustainability in the construction industry: A systematic review of the literature.** Journal of Cleaner Production, v. 289, p. 125730, 20 mar. 2021.

MÜLLER, K. **Timber-concrete composite slabs with micro-notches.** Doctoral Thesis (Doctor of Sciences)—Zurich: ETH Zurich, 2020.

SANTOS, L. F. **Estruturas mistas de Cross Laminated Timber (CLT) e Concreto: análise experimental de conectores semirrígidos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)—Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2021.

USTEV, T.; TIZA, M.; SANI, H.; SESUGH, T. **Sustainability in the civil engineering and construction industry: A review.** Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies, Vol. 7, Issue. 1, pp. 30-39, mar. 2022.

VILELA, R. **Sobre a performance estrutural de placas compostas de cross-laminated timber e concreto.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) —Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2024.